

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Modelos de Caracterização e Desagregação de
Consumos para Utilização em Processos de
Certificação de Edifícios**

Vitor Daniel Ribeiro da Costa

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Doutor Cláudio Monteiro

Março de 2010

© Vitor Daniel Ribeiro da Costa, 2010

A Dissertação intitulada

“Modelos de Caracterização e Desagregação de Consumos para Utilização em
Processos de Certificação de Edifícios”

foi aprovada em provas realizadas em 24 de Fevereiro de 2010

o júri



Presidente Professor Doutor Hélder Filipe Duarte Leite
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professor Doutor Vítor Manuel Fernandes Mendes
Professor Coordenador c/ Agregação do Departamento de Engenharia Electrotécnica
e Automação do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa do IPL



Professor Doutor Cláudio Domingos Martins Monteiro
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da
sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não
explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros
extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e
demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados.



Vítor Daniel Ribeiro da Costa

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

As alterações climáticas e as emissões de CO₂ são as questões que promovem, a nível internacional e nacional, o desenvolvimento de planos que diminuam os seus impactos. A União Europeia e Portugal têm desenvolvido estratégias e programas que incentivam a eficiência energética, bem como a redução das emissões de gases por efeito de estufa.

Neste contexto, surgiram directivas europeias tendo em vista o melhoramento da eficiência energética nos edifícios. Estas foram transpostas por ordem jurídica nacional para uma série de Decretos-Lei, de entre os quais se destacam o Sistema Nacional de Certificação Energética Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE).

A aplicação da legislação em vigor implica a realização de determinados procedimentos, nomeadamente, a execução periódica de auditorias energéticas. Basicamente, uma auditoria é uma forma de identificar e quantificar as formas de energia utilizadas num edifício, com o objectivo de determinar possíveis oportunidades de racionalização dos consumos, tendo em vista a melhoria da eficiência energética.

Na dissertação desenvolveu-se um modelo de caracterização e desagregação de consumos de electricidade que otimiza a coerência da informação recolhida durante as auditorias. A informação provém de medições realizadas, durante um curto período de tempo, aos pontos fulcrais do edifício, facturas eléctricas dos últimos anos e ainda informação resultante de perfis de consumo para diferentes tecnologias. A optimização é feita através da simulação de consumos dos equipamentos inventariados, das facturas e das medições da auditoria.

A aplicação deste modelo poderá constituir uma grande ajuda na realização das auditorias energéticas, uma vez que otimiza informação proveniente de diversas fontes e, através de simulação, permite também caracterizar e desagregar o consumo de electricidade no edifício. Com esta metodologia pretende-se melhorar a qualidade das auditorias e facilitar a caracterização e desagregação de consumos.

Palavras-chave: Auditoria Energética, Caracterização, Consumo, Desagregação, Optimização de Informação, Simulação de Consumos.

Abstract

The climate change and CO₂ emissions are the issues that promote international and national development plans to reduce their impacts. The European Union and Portugal are developing strategies and programs that encourage energy efficiency and the reducing of greenhouse effect gases emissions.

In this context, European directives emerged, aimed to improve energy efficiency in buildings. These were implemented by Portugal's judiciary national with several Decrees, including the National Energy Certification Indoor Air Quality in Buildings and the Management of Intensive Energy Consumption.

The application of existing legislation requires the implementation of certain procedures such as periodic execution energy audits. Basically, an audit is a way to identify and quantify energy types used in a building so as to determine possible opportunities for rationalization of consumption to improve the efficiency of the building.

In this work, a characterization and disaggregation model of electricity consumption was developed to optimize the consistency of the information collected during audits. The information comes from measurements made over a short period of time in the critical building points, the electric bills in recent years as well as information resulting from consumption profiles for different technologies. The consistency's information optimization is done by simulating the consumption of inventoried equipment, electricity bills and measurement audits.

This model's application could be a great help carrying out energy audits, since it optimizes information from various sources and through simulation, it is capable of characterize and disaggregate electricity consumption in building. The objective is to improve the quality of audits.

Keywords: Energy Audit, Characterization, Consumption, Disaggregation, Optimization of Information, Simulation Consumption.

Agradecimentos

Aos meus pais e avós, por todos os sacrifícios que permitiram a concretização deste sonho.

Aos meus colegas e amigos, pelo incentivo e apoio ao longo do meu percurso académico.

À empresa *Smartwatt*, em especial ao Eng. Jorge Oliveira, por me permitir o acesso aos dados que precisei, pela disponibilidade e interesse demonstrado.

À Susana, por todo o carinho, e também pelo apoio que sempre me deu nos momentos mais difíceis.

Thanks *Boss*, see you around!

A todos um muito obrigado sincero...

“Live as if you were to die tomorrow. Learn as if you were to live forever”

M.K. Gandhi

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	xi
Lista de figuras	xiii
Lista de Tabelas	xvii
Abreviaturas e Símbolos	xix
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento	1
1.1.1- O Consumo dos Edifícios no Contexto Ambiental.....	1
1.1.2- Legislação Aplicada aos Edifícios.....	3
1.1.3- Necessidade da Caracterização de Consumos.....	5
1.2 - Motivação	5
1.3 - Objectivos.....	6
1.4 - Estrutura	7
1.5 - Informação Usada na Dissertação.....	7
1.6 - Ferramentas Auxiliares e Técnicas Utilizadas	7
Capítulo 2	9
Estado da Arte.....	9
2.1- Introdução.....	9
2.2- Auditorias Energéticas	9
2.1.1- Objectivos das Auditorias.....	9
2.1.2- Fases, Tipos e Enfoque das Auditorias	10
2.1.3- Relatórios da Auditoria	12
2.1.4- Instrumentos de Medição	12
2.1.5- Auditorias a Edifícios	14
2.3- Sistemas de Gestão de Energia	15
2.2.1- Sistemas de Contagem Inteligente e Telecontagem	15
2.2.2- Sistemas de Monitorização de Consumos em Edifícios	16
2.2.3- Sistema <i>Power Net - Smartwatt Energy Solutions</i>	17

2.2.4- <i>iMeter</i> - ISA (<i>Intelligent Sensing Anywhere</i>)	18
2.4- Padrões de Consumo de Electricidade num Edifício	20
2.3.1- Consumo de Electricidade nos Edifícios.....	22
2.3.2- Caracterização dos Diagramas de Consumo de Electricidade	23
Capítulo 3	29
Modelo de Caracterização e Desagregação de Consumos.....	29
3.1- Introdução.....	29
3.2- Base Geral do Funcionamento do Modelo	30
3.2.1- Facturas de Electricidade	31
3.2.2- Medições.....	31
3.2.3- Definição e Construção dos Diagramas de Consumo Normalizados	32
3.2.4- Potência das Tecnologias de Consumo	35
3.2.5- Síntese da Base de Funcionamento do Modelo	37
3.3- Formulação do Modelo de Optimização.....	37
3.4- Metodologia para Detecção de Incoerências.....	40
3.5- Síntese Geral	41
Capítulo 4	43
Teste do Modelo	43
4.1- Introdução.....	43
4.2- Descrição do Edifício	43
4.3- Aplicação do Modelo	46
4.4- Análise dos Resultados Obtidos.....	52
4.5- Síntese	64
Capítulo 5	67
Conclusões e Trabalhos Futuros.....	67
5.1- Conclusões	67
5.2- Trabalhos Futuros.....	68
Referências	69

Lista de figuras

Figura 1.1 - Desagregação do consumo total final por sectores [7].....	2
Figura 1.2 - Desagregação do consumo total de electricidade por sectores [7].	2
Figura 1.3 - Comparação da intensidade energética de Portugal com a média europeia [4]. ...	3
Figura 2.1 - Exemplo de um equipamento de medição (Auditor CIR-E ³) usado nas AE [25]	13
Figura 2.2 - Exemplo de uma desagregação de medições. Adaptado de [22].	14
Figura 2.3 - Esquema de um possível sistema de telecontagem [28].	16
Figura 2.4 - Sistema de Gestão de Energia para um centro comercial.	17
Figura 2.5 - Analisadores de energia do sistema <i>Power Net</i>	18
Figura 2.6 - Esquema de funcionamento do <i>iMeter</i> [32].	19
Figura 2.7 - Sensor de medição de consumo (esquerda); Transmissor (direita) [32].	20
Figura 2.8 - Perfis de Iluminação para Hotéis em diferentes períodos [11].	20
Figura 2.9 - Perfis de Iluminação para Cinemas e Teatros em diferentes períodos [11].	21
Figura 2.10 - Perfis de equipamentos para Bibliotecas em diferentes períodos [11].	21
Figura 2.11 - Perfis de equipamentos para diferentes períodos [11].	22
Figura 2.12 - Representação em árvore da procura nos edifícios.	22
Figura 2.13 - Diagrama de potência diário.	24
Figura 2.14 - Variação do diagrama diário da potência ao longo do mês [38].	24
Figura 2.15 - Construção de diagramas por tipo de consumidor e por tecnologias de consumo [38].	25
Figura 2.16 - Interpretação dos diversos índices. Adaptado de [40].	26
Figura 2.17 - Agregação de diagramas [40].	27
Figura 3.1 - Sistema de Caracterização e Desagregação de Consumos (SCDC).	29

Figura 3.2 - Diagramas de consumo medidos para diferentes dias.....	32
Figura 3.3 - Análise dos diagramas de consumo diário num Centro de Saúde para diferentes tipos de dias.	32
Figura 3.4 - Análise dos diagramas de consumo diário numa Unidade Hospitalar para diferentes tipos de dias.	33
Figura 3.5 - Evolução do consumo mensal numa Unidade Hospitalar.	33
Figura 3.6 - Evolução do consumo mensal numa Residência Universitária.	34
Figura 3.7 - Exemplos de perfis normalizados.	35
Figura 3.8 - Variação da potência utilizada ao longo do tempo.	36
Figura 3.9 - Fluxograma representativo das informações que entram no SCDC.	37
Figura 3.10 - Fluxograma do SCDC.....	40
Figura 3.11 - Legenda dos diagramas de blocos.	41
Figura 3.12 - Diagrama final do funcionamento do SCDC.	42
Figura 4.1 - Diagrama dos principais quadros eléctricos.....	45
Figura 4.2 - Evolução do consumo mensal.....	46
Figura 4.3 - Diagrama da desagregação das medições efectuadas.....	47
Figura 4.4 - Consumo total medido no edifício.....	48
Figura 4.5 - Diagrama de consumo médio para a medição $[M]_{1,96,1,11}$	48
Figura 4.6 - Diagrama de consumo para a medição $[M]_{2,1,1,11}$	49
Figura 4.7 - Diagrama de consumo para as medições $[M]_{3,63,1,11}$ (a laranja) e $[M]_{4,14,1,11}$ (a azul).	50
Figura 4.8 - Diagrama de consumo para a medição $[M]_{5,32,1,11}$	51
Figura 4.9 - Comparação das facturas reais com os resultados da simulação.	52
Figura 4.10 - Comparação da simulação com a medição efectuada a todo o edifício num dia útil.	53
Figura 4.11 - Comparação da simulação com a medição efectuada a todo o edifício num dia de fim-de-semana.	54
Figura 4.12 - Comparação medição efectuada ao AVAC num dia útil com os resultados da simulação.	54
Figura 4.13 - Comparação entre a simulação e a medição efectuada para o Piso 1 num dia útil.	55
Figura 4.14 - Comparação entre a medição efectuada na iluminação do Piso 1 e o resultado da simulação.....	55
Figura 4.15 - Comparação entre o resultado da simulação e a medição feita no Piso 0.	56

Figura 4.16 - Desagregação dos consumos eléctricos por tecnologias de consumo.	57
Figura 4.17 - Desagregação dos consumos eléctricos pelas diferentes zonas.	58
Figura 4.18 - Desagregação do consumo de equipamentos por zonas.	58
Figura 4.19 - Desagregação do consumo de iluminação por zonas.	59
Figura 4.20 - Relação entre a potência máxima e a instalada de cada tecnologia.	61
Figura 4.21 - Restrições da iluminação no modelo.....	62
Figura 4.22 - Comparação entre o consumo total da cantina e as máquinas de lavar louça num dia útil.	63
Figura 4.23 - Relação entre a potência máxima e instalada dos equipamentos.....	63
Figura 4.24 - Restrições dos equipamentos no modelo.	64

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Aplicação do RCCTE e RSECE em edifícios de serviços existentes [6].	4
Tabela 1.2 - Aplicação do SGCIE [6].	5
Tabela 4.1 - Divisão por zonas e espaços do edifício.	44
Tabela 4.2 - Sumário das potências instaladas nos diversos espaços.	44
Tabela 4.3 - Sumário da energia anual consumida nos diversos espaços.	57
Tabela 4.4 - Sumário das tecnologias de consumo (iluminação).	60
Tabela 4.5 - Equipamentos principais.	62

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

AE	Auditorias Energéticas
AQS	Água Quente Sanitária
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CE	Comissão Europeia
EE	Eficiência Energética
ESCO	<i>Energy Service Companies</i>
GEE	Gases por Efeito de Estufa
INEGI	Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
INESC Porto	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto
ISA	<i>Intelligent Sensing Anywhere</i>
MRE	Medidas de Racionalização de Energia
Mtep	Milhões de Toneladas de equivalente petróleo
PN	Perfis Normalizados
PNAEE	Plano Nacional de Acção para Eficiência Energética
PREn	Planos de Racionalização do Consumo de Energia
Q.B.I	Quadro de Bombas de Incêndio
Q.P.0	Quadro Piso 0
Q.P.1	Quadro Piso 1
QG	Quadro Geral
QP	Quadro Parcial
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SCDC	Sistema de Caracterização e Desagregação de Consumos
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
SOHO	<i>Small Office, Home Office</i>
UE	União Europeia

Lista de símbolos

$[M]_{p,l,d,m}$	Diagrama da medição p para l tecnologias num determinado tipo de dia d num de terminado mês m
$[PN]_{k,d,m}$	Perfil normalizado de um tipo de dia d para a tecnologia k , no mês m
$[W]_{k,d,m}$	Diagrama de consumo simulado para o tipo de dia d relativo à tecnologia k , no mês m
Δt_j	Percentagem de utilização na hora j
e_{a,F_m}	Erro da factura para o mês m do ano a
$FR_{a,m}$	Energia real da factura para o mês m no ano a
FS_m	Valor mensal de energia simulado para o mês m
P_k	Potência da tecnologia k
W_j	Energia na hora j
P_{global}^{max}	Potência Máxima Global
e_F^{total}	Erro total das facturas
$e_{p,l,d,m}^M$	Erro da medição p para o tipo de dia d no mês m para as tecnologias l
$f_{pi_{k,d}}$	Factor de ponta relativo ao instalado da tecnologia k que funciona num tipo de dia d
$[PN]$	Matriz Perfis Normalizados
f_0	Factor de vazio
f_c	Factor de carga
f_d	Factor de Diversidade
f_{pi}	Factor de ponta relativo ao instalado
FR	Facturas Reais
f_s	Factor de Simultaneidade
h_c	Utilização de ponta
P_i	Potência instalada
P_{max}	Potência máxima
P_{med}	Potência média
P_{min}	Potência mínima
W	Energia
c	Número de anos completos para os quais existem facturas
d	Índice do tipo de dia
j	Hora
m	Mês do ano

n	Total de tecnologias do edifício
p	Índice da medição efectuada
q	Número total de medições efectuadas

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo pretende-se fazer o enquadramento de alguns temas presentes na nossa sociedade, descrever os objectivos deste trabalho e apresentar a estrutura deste documento.

1.1 - Enquadramento

1.1.1 - O Consumo dos Edifícios no Contexto Ambiental

A má utilização da energia conduz a um esbanjamento das fontes de energia primárias, implicando um consumo desnecessário de combustíveis. Além disso, o consumo inútil provoca impactos no meio ambiente tais como alterações climáticas. Estas são, hoje, reconhecidas como uma das grandes ameaças ao ambiente e à qualidade de vida das populações [1].

A forma como a energia disponível é utilizada torna-se numa questão chave e, por isso, o aumento da Eficiência Energética (EE) é imprescindível para se atingirem os objectivos da diminuição da intensidade energética global, assim como o aumento dos correspondentes resultados económicos [2].

O clima está a mudar e a actividade humana é a principal causa. Se as emissões do CO₂ não forem drasticamente reduzidas, é provável que o planeta aqueça mais depressa, alterando decisivamente o mundo em que vivemos [3].

O Protocolo de Quioto veio impor níveis de redução da emissão dos Gases por Efeito de Estufa (GEE). Portanto, cumprir Quioto exige um esforço de todos [4]. A obtenção de poupanças de energia significativas implica, por um lado, o desenvolvimento de técnicas, produtos e serviços eficientes do ponto de vista energético e, por outro, uma alteração dos padrões comportamentais, com vista a uma redução do consumo de energia sem perda de qualidade de vida [5].

A Comissão Europeia (CE) considera que as poupanças de energia mais significativas ocorrerão nos sectores dos edifícios residenciais e comerciais (terciário), com um potencial de redução avaliado em, respectivamente, 27% e 30%, nas indústrias transformadoras, com hipóteses de poupanças da ordem dos 25%, e no sector dos transportes, com uma previsão de redução do consumo de 26%. Com estas poupanças a União Europeia (UE) espera poupar 390

2 Introdução

milhões de toneladas de equivalente petróleo (Mtep) anuais, o que equivale a diminuir as emissões de CO₂ em 780 milhões de toneladas por ano [5].

As estatísticas indicam que o sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa mas, apesar disso, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de EE. Esta redução pode representar uma diminuição anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ - quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto [6].

Portugal é um país desprovido de recursos energéticos próprios, sobretudo, aqueles que asseguram a maioria das necessidades energéticas dos países desenvolvidos - como o petróleo, o carvão e o gás. Tal situação de escassez conduz a uma elevada dependência energética do exterior (82,9% em 2007), tornando-se bastante indefeso perante eventuais crises no mercado petrolífero [7].

Analizando a Figura 1.1, relativa aos dados disponibilizados por [7], quase um terço da energia final é consumido nos edifícios - sector residencial e serviços - sendo que, a intensidade energética destes tem aumentado, ao invés da tendência europeia.

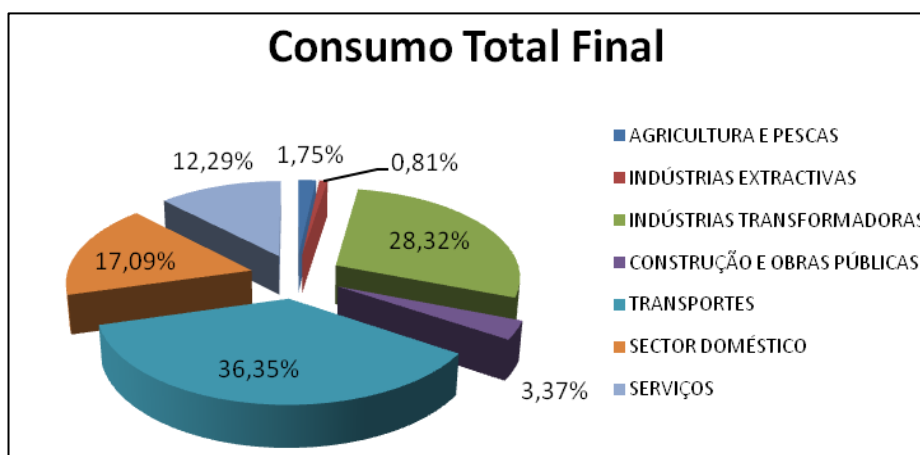


Figura 1.1 - Desagregação do consumo total final por sectores [7].

Atendendo apenas à parte da energia eléctrica (Figura 1.2), os edifícios são responsáveis por cerca de 62% do consumo.

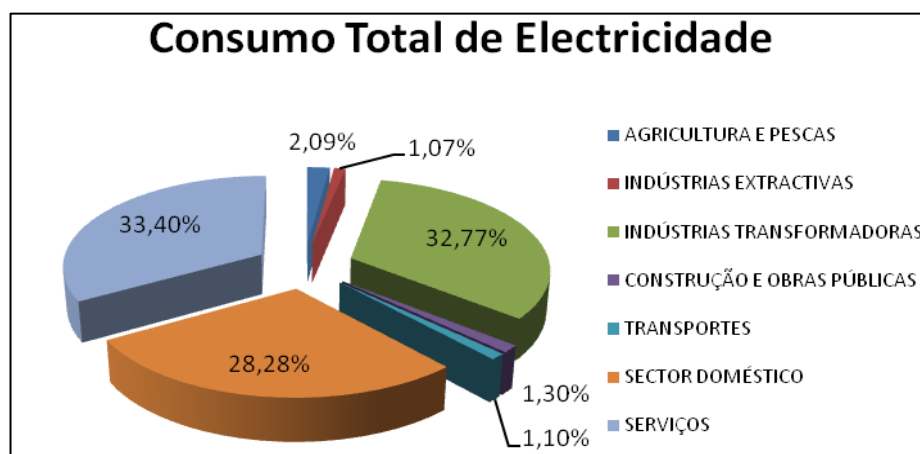


Figura 1.2 - Desagregação do consumo total de electricidade por sectores [7].

Mediante estes valores torna-se imperativo aplicar medidas de redução de consumo nos edifícios, através do uso eficiente de energia, permitindo, ao mesmo tempo, o cumprimento das metas europeias no que respeita à emissão de GEE.

Nos últimos anos verificou-se uma forte inversão da intensidade energética, apesar de continuar significativamente acima da média europeia, como se pode constatar na Figura 1.3:

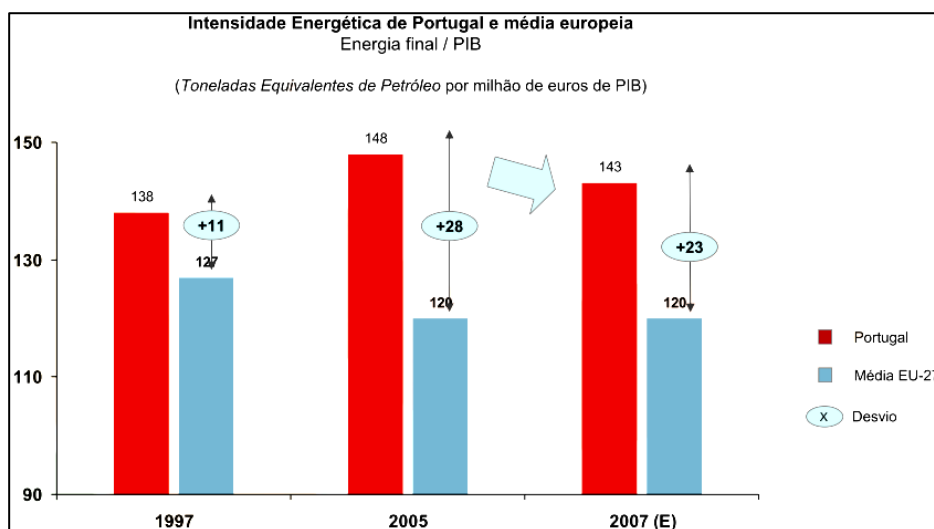


Figura 1.3 - Comparação da intensidade energética de Portugal com a média europeia [4].

Portugal gasta mais dinheiro que os restantes países, por cada milhão produzido, restando menos capital para investir noutras vertentes da economia.

Perante estes dados, é necessário acelerar a convergência para a média europeia através do Plano Nacional de Acção para Eficiência Energética (PNAEE) de Fevereiro 2008 e dos seus 12 Programas do Portugal Eficiência 2015. Estes programas abrangem as áreas dos transportes, indústria, estado, residencial e serviços, tanto a nível tecnológico como a nível comportamental. Prevê-se uma melhoria da eficiência energética equivalente a 10% do consumo final de energia, antecipando o prazo e ultrapassando a meta previstos na Directiva n.º 2006/32/CE [8].

1.1.2 - Legislação Aplicada aos Edifícios

O desenvolvimento de medidas para a EE em edifícios surgiu com a Directiva n.º. 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta estabelece que os Estados membros da UE devem implementar um sistema de certificação energética, de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, durante a construção, venda ou arrendamento dos mesmos. Obriga também que o sistema de certificação abranja, igualmente, todos os grandes edifícios públicos e edifícios visitados frequentemente pelo público [9].

A directiva anterior foi transposta no ano 2006 para a ordem jurídica nacional através de um pacote legislativo composto por três Decretos-Lei [6]:

- Decreto-Lei n.º 78/2006 - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) [10];

- Decreto-Lei n.º 79/2006 - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) [11];
- Decreto-Lei n.º 80/2006 - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [12];

Em particular, o SCE tem por objectivos [10]:

- Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e, respectivos sistemas energéticos, no que respeita ao desempenho energético e à qualidade do ar interior;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE.

Estão abrangidos por este regulamento os novos edifícios, assim como os existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação e os edifícios de serviços existentes, que estão sujeitos a auditorias periódicas, conforme especificado no RSECE. Os edifícios existentes, para habitação e para serviços, aquando da celebração de contratos de venda e de locação, incluindo o arrendamento, também se inserem no âmbito de aplicação do SCE [10].

Em 2006, o Parlamento Europeu e do Conselho lança a Directiva n.º 2006/32/CE relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos. Esta estabelece que os Estados membros da UE devem promover condições para o desenvolvimento, não só de um mercado dos serviços energéticos, mas também de medidas de melhoria da EE destinadas aos consumidores finais [13]. Também esta directiva foi transposta para legislação nacional através do Decreto-Lei n.º 319/2009 [14].

Existem, ainda, outros diplomas em vigor na área da EE que incluem já disposições importantes no campo de aplicação da Directiva n.º 2006/32/CE, designadamente, o Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril, que criou o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE). Este decreto tem como objectivo promover [15]:

- Mecanismos de reconhecimento de técnicos e de entidades, como auditores energéticos e autores de planos de racionalização dos consumos;
- A EE, monitorizando os consumos energéticos de instalações consumidoras intensivas de energia.

As tabelas seguintes (Tabela 1.1 e Tabela 1.2) mostram o âmbito de aplicação da legislação referida. De salientar que, para a presente dissertação, interessa em particular, a aplicação da legislação em edifícios existentes.

Tabela 1.1 - Aplicação do RCCTE e RSECE em edifícios de serviços existentes [6].

Aplicação dos Regulamentos Térmicos dos Edifícios		
Edifícios Serviços Existentes	Procedimentos	Requisitos
Grandes: Áreas > 1000/500 m ²	Auditoria Energética e QAI	Energéticos e Qualidade do ar

Tabela 1.2 - Aplicação do SGCIE [6].

Aplicação do SGCIE	
Instalações consumidoras intensivas de energia	Procedimentos
Consumo anual ≥ 500 tep/ano	Auditoria Energética; Plano de Racionalização de Energia

A legislação obriga a que as AE sejam feitas periodicamente. No âmbito do SCE, devem ser feitas de 6 em 6 anos. No âmbito do SGCIE, se o edifício tiver um consumo igual ou superior a 1000 tep/ano as AE devem ser feitas de 6 em 6 anos, mas se o consumo estiver compreendido entre 500 tep/ano e 1000 tep/ano passam a ser feitas de 8 em 8 anos [4].

1.1.3 - Necessidade da Caracterização de Consumos

A EE e o cumprimento da legislação em vigor constitui-se como uma valiosa ocasião para as empresas se afirmarem como parte da solução, com criação de valor real para o negócio e, ao mesmo tempo, para a sociedade e para o ambiente [16]. É neste contexto que, entre outros tipos de empresas, surgem as *Energy Service Companies* (ESCO's). Como o próprio nome indica, são empresas que desenvolvem, instalam e financiam projectos destinados a melhorar a EE [17].

Como se pode verificar pelos quadros anteriores, as Auditorias Energéticas (AE) são um ponto em comum da legislação atrás mencionada. Quer no âmbito do SCE quer no âmbito do SGCIE, as AE são uma forma de identificar e quantificar as formas de energia utilizadas num edifício, assim como, propor um plano de racionalização para as acções e investimentos a empreender [10] e [15]. Torna-se, portanto, um processo imprescindível para o cumprimento da legislação e melhoria da EE, daí ser um serviço adoptado por muitas empresas, tendo em vista a satisfação das necessidades dos seus clientes. Assim, assume particular importância a caracterização de consumos no contexto da AE: o processo de gestão começa necessariamente pelo conhecimento da situação energética da instalação [18].

Por estas razões, justifica-se o desenvolvimento desta dissertação tendo em vista os modelos de caracterização e desagregação de consumos de edifícios para utilização em processos de certificação. De facto, tais modelos poderão constituir uma grande ajuda na realização das AE, agregando informação proveniente de diversas fontes, com o objectivo de obter uma imagem desagregada das utilizações, facilitando assim, a identificação de Medidas de Racionalização de Energia (MRE) e a elaboração de Planos de Racionalização do Consumo de Energia (PREn) [15].

1.2 - Motivação

Com a realização de uma AE procura-se caracterizar as condições de utilização de energia, com o objectivo de determinar possíveis oportunidades de racionalização dos consumos, tendo em vista a melhoria da EE do edifício [15].

Logo, torna-se necessário que empresas prestadoras de tais serviços sejam eficientes na avaliação da informação recolhida e no tratamento da mesma, de forma a elaborarem um PREn mais concreto, detalhado e fiável.

A caracterização ideal de um edifício seria obtida tendo em permanente funcionamento um sistema de gestão de energia, ou equipamentos de medição colocados nos pontos fulcrais da instalação, para que estes registassem os consumos por largos períodos de tempo. Desta forma, seria possível obter uma caracterização dos consumos do edifício, assim como uma imagem desagregada destes.

Porém, tal cenário é muitas vezes rejeitado do ponto de vista económico devido ao elevado custo dos sistemas de gestão ou dos equipamentos de medida. A impossibilidade das empresas disponibilizarem os seus equipamentos durante períodos longos, e em número suficiente para se efectuarem as medições nos pontos essenciais do edifício, também é uma barreira que se levanta à caracterização e desagregação dos consumos do edifício.

Desta forma, para se conseguir um nível de detalhe aceitável é necessário desenvolver uma ferramenta que aumente a produtividade dos técnicos que realizam estas tarefas, que automatize, avalie e desagregue toda a informação que é necessária à caracterização dos consumos eléctricos do edifício, sem que para isso seja necessário despendar muito tempo nas medições efectuadas.

O modelo de caracterização e desagregação de consumos desenvolvido nesta dissertação tenta reunir, num só, toda a informação recolhida durante as AE. Essa informação é proveniente de medições realizadas durante um curto período de tempo aos pontos do edifício considerados fulcrais, facturas eléctricas dos últimos anos e ainda informação resultante de tipicidade de indicadores de consumos específicos e perfis de consumo para diferentes equipamentos, sistemas e áreas de utilização.

1.3 - Objectivos

Este trabalho de dissertação tem como objectivo desenvolver um modelo que caracterize e desagregue os consumos eléctricos dum edifício.

Numa primeira etapa, pretende-se criar uma ferramenta que permita o tratamento de todas as informações recolhidas nas AE e necessárias para o funcionamento do modelo.

Para acelerar o processo de inserção de dados a ferramenta terá uma base de dados, onde são reunidos:

- Perfis de consumo para diferentes equipamentos, sistemas e áreas de utilização;
- Perfis de iluminação para diferentes áreas de utilização;
- Potências típicas de equipamentos.

Na segunda etapa, tem-se como objectivo desenvolver um modelo de optimização que maximiza a coerência das informações recolhidas durante as AE:

- Medições efectuadas num curto espaço de tempo (3 a 7 dias);
- Facturação;
- Perfis de consumo típicos.

1.4 - Estrutura

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo a introdução o primeiro desses capítulos.

No capítulo 2 apresenta-se o estado da arte sobre auditorias energéticas onde são explicados os objectivos, as fases e os tipos de auditorias que existem. Além disso, são abordados assuntos como os sistemas de gestão de energia e os padrões de consumo.

No terceiro capítulo são apresentados os contributos para o desenvolvimento do modelo de caracterização e desagregação de consumos assim como a formulação do referido modelo. Serão descritas as bases do modelo e também os pressupostos utilizados para o validar.

No capítulo 4 serão apresentados os resultados obtidos para os testes efectuados ao modelo desenvolvido.

Por último, no capítulo 5, apresentar-se-ão todas as conclusões retiradas ao longo do trabalho desenvolvido e também algumas perspectivas de trabalhos futuros.

1.5 - Informação Usada na Dissertação

No âmbito desta dissertação foram fornecidos dados de consumo em edifícios distintos para que pudessem ser analisados diversos aspectos importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Os dados, fornecidos gentilmente pela empresa *Smartwatt*, são relativos a:

- Unidade Hospitalar com um consumo anual na ordem dos 611.691 kWh/ano;
- Residência Universitária com consumo anual na ordem dos 250.000 kWh/ano;
- Cantina universitária com consumo anual na ordem dos 216.355 kWh/ano.

1.6 - Ferramentas Auxiliares e Técnicas Utilizadas

No trabalho realizado nesta dissertação foi utilizado o *Microsoft Excel* para criar a ferramenta de tratamento de dados e apoio ao modelo desenvolvido.

No que respeita ao modelo desenvolvido propriamente dito e ao processo de optimização da informação, foi utilizada a ferramenta *Solver*, um suplemento do *Excel* que resolve problemas matemáticos de difícil resolução manual.

Através da análise de hipóteses, o *Solver* efectua processos iterativos que consistem na alteração de determinadas células (variáveis de decisão) e na avaliação dessas alterações na função objectivo do problema.

A optimização numérica é baseada em algoritmos. O método *Simplex* é usado na resolução de problemas lineares enquanto o método do Gradiente Reduzido Generalizado é aplicado em problemas não-lineares [19].

No entanto, o *Solver* coloca limites no número de variáveis de decisão. No máximo permite um total de duzentas (200) variáveis, mas o limite de restrições permitidas depende do tipo de modelo usado, linear ou não-linear.

Nos casos em que se excedem os limites, o *Solver* não consegue resolver o problema, portanto, é necessário encontrar uma alternativa. Uma das opções é tentar agregar variáveis de decisão que variem da mesma forma, o que nem sempre pode ser suficiente. Outra opção passa por encontrar ferramentas de optimização mais poderosas.

8 Introdução

Uma dessas ferramentas é o *Risk Solver Platform* que é uma das ferramentas mais poderosas para análise, simulação e otimização, que pode ser instalada no *Excel* como suplemento funcionando de modo idêntico ao *Solver* tradicional. A grande diferença é que permite o tratamento de 8000 variáveis para problemas lineares e 500 para problemas não-lineares.

Além dos métodos de otimização do *Solver* tradicional, esta ferramenta inclui outros métodos como o *Risk Solver Engine* e o *Standard Evolutionary Engine* [20].

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1- Introdução

No presente capítulo pretende-se abordar assuntos relacionados com o tema desta dissertação. Assim, começa-se por descrever as auditorias energéticas e todos os seus conteúdos, de modo a enquadrar a caracterização e desagregação neste processo.

De seguida, faz-se um breve resumo dos sistemas de gestão de energia e da sua importância na contabilização dos consumos.

Por fim, aborda-se o tema dos padrões de consumo de electricidade nos edifícios, de modo a identificar perfis típicos de consumidores e tecnologias de consumo, pretendendo-se ainda, analisar a caracterização numérica desses perfis de consumo.

2.2- Auditorias Energéticas

2.1.1 - Objectivos das Auditorias

Uma AE pode ser simplesmente definida como um processo para avaliar onde um edifício utiliza energia na procura de oportunidades para reduzir o consumo [21].

A decisão de implementação da auditoria é motivada por razões de obrigatoriedade (SGCIE, SCE), por necessidade de poupança e por razões de imagem ou preocupação ambiental.

Para cumprir tais necessidades as AE devem identificar e quantificar os usos de todas as fontes de energia (gás, electricidade, nafta, fuel, biomassa, calor, etc.) para além de localizar onde é feita a utilização (iluminação, condicionamento ambiente, aquecimento, força motriz, processo, etc.) e identificar que sectores/equipamentos são mais importantes do ponto de vista dos consumos de energia. Por outro lado, as AE devem identificar quando é utilizada esta energia, reconhecendo padrões de consumo e quantificando a energia que é consumida [22].

É a caracterização detalhada dos consumos que torna possível a identificação de eventuais acções ou medidas a implementar para uma utilização mais eficiente e racional da energia, tendo em vista a redução dos encargos [23].

De uma forma mais sistemática, uma AE tem como objectivo identificar e quantificar as formas de energia utilizadas caracterizando a estrutura do consumo e os consumos energéticos por sector/equipamento. Tem ainda como objectivos propor um plano de racionalização para as acções e investimentos a empreender assim como estabelecer e quantificar potenciais MRE para além de analisar técnica e economicamente as soluções encontradas. Por outro lado pretende avaliar o desempenho dos sistemas de geração e utilização de energia especificando um plano de gestão de energia para a empresa. Mediante isto, propõe-se a substituição de equipamentos por outros mais eficientes e a alteração das fontes energéticas, caso se justifique [22].

2.1.2 - Fases, Tipos e Enfoque das Auditorias

A execução de uma auditoria requer uma preparação e planeamento adequados. A fase de preparação passa sobretudo pela contextualização dos processos/sistemas e por entrevistas com os responsáveis do edifício, no sentido de se apurarem as expectativas relativamente à auditoria.

O gerente do edifício é uma pessoa que deve ter acesso a grande parte dos dados operacionais sobre a instalação e um arquivo de dados sobre a instalação de equipamentos. O director financeiro pode fornecer todos os registos financeiros necessários (por exemplo, facturas de serviços públicos de gás, electricidade, petróleo, combustíveis, água e esgoto, as despesas de manutenção e reparação, etc.) [24]. Pressupõem-se um empenhamento ao nível da administração que é fundamental para o sucesso de qualquer programa de racionalização.

Após a recolha dos dados documentais e análise dos elementos obtidos, é necessário efectuar a caracterização geral do desempenho energético ao longo do tempo e quantificar as utilizações por grandes categorias.

Deve fazer-se uma visita às instalações com inventariado (se este existir um, caso contrário deve fazer-se um) e verificação do estado dos diversos equipamentos. O objectivo desta fase é obter uma imagem desagregada das utilizações para facilitar a identificação das MRE. Para cada equipamento deve fazer-se a sua descrição e recolherem-se informações relativas ao tipo de combustível utilizado, potência nominal, regime de carga médio (estimado) e número médio de horas de utilização, por período horário.

Depois de recolhidos os dados e com vista à sua análise são colocados em formato digital adequado (redes energéticas, localização de equipamentos, inserção de características dos equipamentos, séries numéricas de consumos). É efectuada a síntese da informação, de forma a poder fazer a análise em diversos níveis de detalhe, tais como (des)agregação segundo as estruturas das redes energéticas, (des)agregação temporal, (des)agregação por zonas de utilização dos equipamentos).

Posto isto, são identificadas as falhas de informação, anomalias e erros de medição. A verificação da coerência da informação revela-se importante neste processo, devendo integrar diversas fontes como, por exemplo, medições detalhadas, facturas mensais, estimativas com base no uso dos equipamentos. Assim, é possível o ajuste dos consumos em função de variáveis externas (produtividade, temperatura, ocupação, etc.) e o cálculo de indicadores de consumos específicos e comparação com valores de referência.

Após a análise de toda a informação é possível identificar MRE para o edifício, para as suas infra-estruturas e para equipamentos ou sistemas em que os consumos específicos não se encontrem dentro dos valores de referência. De entre as medidas a implementar pode efectuar-se a substituição de equipamentos ou a sua adaptação (*retrofit*). Podem ser implementadas alterações a nível do fornecedor de energia ou de materiais (a poupança pode não estar apenas dentro da instalação), da fonte de energia (electricidade, gás, calor), dos processos e dos comportamentos. Para além disso pode ser necessária a utilização de sistemas de automatização da gestão nos consumos.

No entanto estas medidas terão de ser alvo de estudo pois dependem de muitos factores, como o investimento inicial (próprio, empréstimo, *leasing*, ESCO), custo de operação e manutenção, tempo de vida, risco de acidente e impactos ambientais.

Uma AE deve seguir as fases descritas anteriormente. São as etapas essenciais a adoptar para que, no final, sejam identificados todos os problemas e se possa sugerir as MRE adequadas ao edifício.

No entanto, dependendo das necessidades específicas de cada edifício, pode adequar-se as fases descritas anteriormente a quatro tipos de auditorias [22]:

- Auditoria sintética: é efectuada uma síntese dos consumos energéticos à facturação das diversas fontes de energia, permitindo uma caracterização global dos consumos de energia e respectivos encargos financeiros;
- Auditoria genérica/deambulatória: realiza-se uma inspecção às condições de funcionamento das principais instalações (*checklist* resumida). Estas devem ser adequadas a cada situação;
- Auditoria analítica: faz-se uma análise dos consumos por tipo de equipamento, que exige normalmente algumas monitorizações e determinação de padrões de funcionamento;
- Auditoria tecnológica: pondera-se alterações nos processos. Os resultados desta auditoria permitem avaliar soluções alternativas em termos de processo e tomar decisão quanto a possíveis alterações.

Por vezes, uma AE pode ser realizada dando mais importância a determinados pontos consoante o alvo da auditoria. De acordo com [23] poderão ser feitas:

- Auditorias à envolvente: identificação de perdas e ganhos devido a fugas, tipo de material usado na construção;
- Auditorias funcionais: determina a quantidade de energia necessária para uma dada função e identifica MRE;
- Auditorias ao processo: determina a quantidade de energia para cada função do processo e identifica MRE;

Em síntese, para que uma AE tenha mais hipóteses de sucesso é necessário pedir a colaboração de quem trabalha nos locais e/ou com os equipamentos/sistemas de forma a obter e analisar os históricos dos consumos. Deve realizar-se uma visita/inspecção ao edifício para se planear a recolha de dados com recurso a equipamentos. Posteriormente realiza-se a auditoria e, no final, a revisão dos dados colectados [23].

2.1.3 - Relatórios da Auditoria

O final da auditoria energética acontece com a elaboração de um relatório que deve incluir um conjunto de informação organizada, onde se destaca a informação básica sobre a empresa e a finalidade da auditoria. Outros aspectos a incluir devem ser referentes à contabilidade energética, à caracterização e desagregação dos consumos, tendo em vista a elaboração de um plano de acção para implementação das MRE [21] e [24].

Todos estes pontos devem estar organizados segundo uma estrutura, sendo apresentado, de seguida, um exemplo típico da estrutura do relatório [22]:

1. Introdução
2. Síntese e Resumo de Medidas
3. Caracterização da utilização de Energia
 - 3.1. Consumos globais: mensais e anuais
 - 3.2. Por tipo de combustível
 - 3.3. Custos da energia
4. Dados de Produção
 - 4.1. Globais mensais e anuais
 - 4.2. Por secção, durante a auditoria
5. Cálculo dos Consumos Específicos
 - 5.1. Por produto
 - 5.2. Por sector produtivo
6. Análise da Estrutura Produtiva
 - 6.1. Apresentação dos vários sectores produtivos
 - 6.2. Medições realizadas
 - 6.3. Oportunidades e medidas de racionalização
7. Análise dos Serviços Auxiliares
 - 7.1. Ar comprimido
 - 7.2. Caldeiras e distribuição de vapor
 - 7.3. Produção e distribuição de água gelada
 - 7.4. Armazenagem e distribuição de combustíveis
 - 7.5. Serviços eléctricos
8. Gestão de Energia
 - 8.1. Sistemas existentes / sistema adequado
 - 8.2. Controlo da energia e fixação de objectivos

2.1.4 - Instrumentos de Medição

A caracterização, quantificação e desagregação dos consumos energéticos impõem a utilização de aparelhos que permitam efectuar a medição desses consumos. De entre os equipamentos mais utilizados para a realização de AE destacam-se [21] e [22]:

- Wattímetros;
- Medidores de ponta;
- Medidores do factor de potência;
- Pinças amperimétricas;
- Luxímetros;

- Termómetros;
- Registadores de diagrama de carga;
- Anemómetros;
- Analisadores ORSTAD de CO₂ ou medidor de eficiência de combustão;
- Analisadores de EE;
- Scanners de infra-vermelhos.

Os aparelhos que têm capacidade de armazenamento de dados e permitem obter diagramas de carga são essenciais para caracterizar o regime de funcionamento e os consumos.

A Figura 2.1 mostra um exemplo de um aparelho usado nas medições e que permite o armazenamento de dados [25].

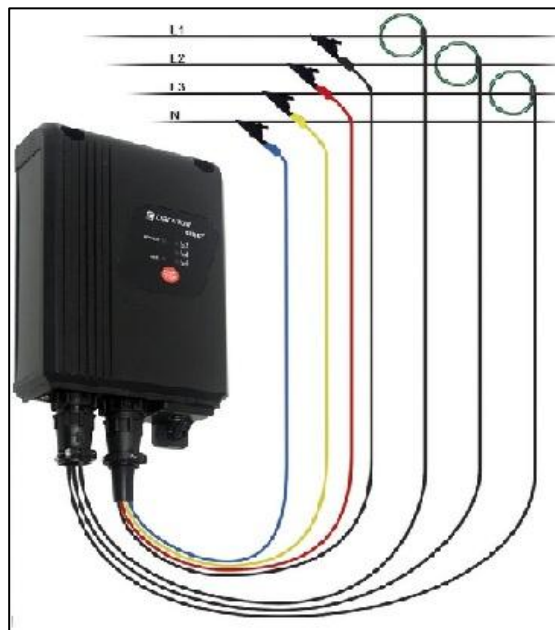


Figura 2.1 - Exemplo de um equipamento de medição (Auditor CIR-E³) usado nas AE [25]

Para se obter diagramas de consumos mais desagregados durante uma AE, torna-se necessário instalar equipamentos de submedida. Como mostra a figura seguinte (Figura 2.2), a obtenção de dados mais desagregados pode ser feita inserindo aparelhos de medição nos diversos quadros eléctricos como, por exemplo, Quadros Gerais (QG) e Quadros Parciais (QP) [23].

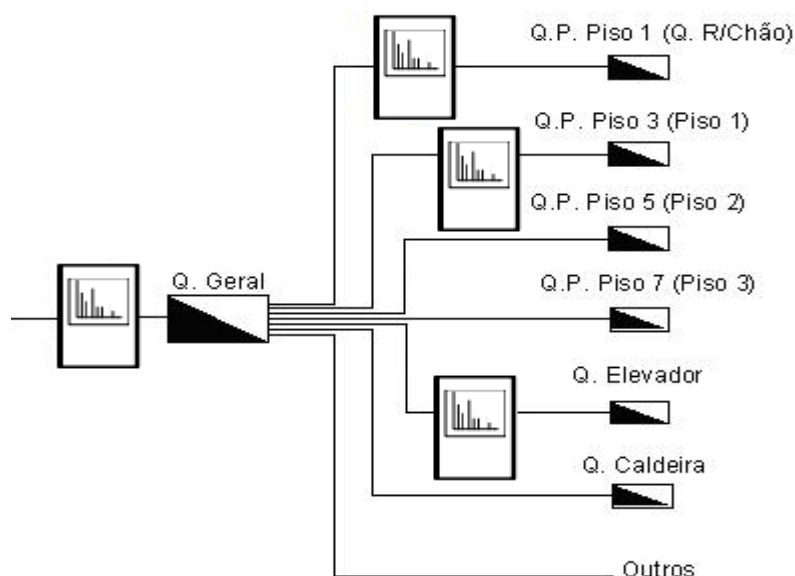


Figura 2.2 - Exemplo de uma desagregação de medições. Adaptado de [22].

2.1.5 - Auditorias a Edifícios

No que diz respeito às auditorias a edifícios, há aspectos que influenciam o uso de energia de forma diferente. É o caso de parâmetros como micro e macro climas, local e orientação, projecto, níveis de ocupação e uso. Portanto, o enquadramento da gestão de energia num edifício é feito considerando [26]:

- O Local: determina a que condições climatéricas o edifício está sujeito considerando efeitos do clima, orientação, sombreamento, topografia;
- A Envolvente: determina a influência das condições do local sobre os ocupantes;
- Os Sistemas: complementam a disponibilidade natural de luz, calor e frio do meio ambiente. O uso de sistemas deve ser integrado com as características da envolvente e do local para minimizar o uso de energia;
- A Infiltração: é a passagem de ar quente ou frio através de janelas, portas abertas ou fendas e que pode ser causada por diferenças de pressão. Portanto, a ventilação forçada deve funcionar de forma adequada, ou seja, não deve ter ar a menos pois provoca a diminuição da qualidade do ar, nem deve ter ar a mais pois implica o consumo de energia para o climatizar.

Apesar de serem parâmetros de cariz térmico, a sua variação influencia o consumo de energia e portanto, numa AE, deve ter-se em conta esta informação. No que concerne à execução de uma AE a um edifício destacam-se alguns passos importantes.

Em primeiro lugar deve-se compilar dados históricos. De seguida deve conduzir-se uma *walk-through* que permite à equipa ficar com um maior conhecimento do edifício, identificando melhor as zonas e a instrumentação necessária. Nesta fase identificam-se as necessidades em termos de recursos humanos como, por exemplo, Arquitectos (envolvente do edifício), Engenheiros mecânicos para inspecção de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), Engenheiros electrotécnicos (iluminação e outras cargas eléctricas).

Posto isto, deve realizar-se a auditoria propriamente dita, onde se identificam todas as formas de energia (quando e onde são usadas). É possível também correlacionar os dados

energéticos com os padrões de uso, condições climatéricas e funções do edifício. Deve medir-se a intensidade luminosa, a temperatura em vários locais e momentos distintos, as pressões dos caudais e trocadores de calor. Efectua-se também uma monitorização das cargas eléctricas principais.

Por fim, compilam-se os dados recolhidos na auditoria e identificam-se as MRE [23]. Para isso, é necessário ter em conta as medições efectuadas. Assim, é importante que se monitorizem parâmetros como a energia eléctrica total e por sectores/equipamentos mais importantes (energia, potência, factor de potência, harmónicos, desequilíbrios de fases). Além da vertente eléctrica, devem ser feitas medições térmicas com auxílio de termómetros, analisadores de gases de combustão e condensados. É necessário também efectuar medições mecânicas utilizando tacómetros, acelerómetros ou velocímetros e medições de fluxos de ar, velocidade de gases e de água [26].

Para além das medições, devem ser recolhidas outras informações importantes para a caracterização do edifício e dos seus consumos [23]:

- Identificação do edifício e características construtivas;
- Utilização/função do edifício e dos diferentes espaços;
- Características físicas (áreas das janelas, dos tectos e das paredes; materiais de construção, etc.). Estado do isolamento.
- Idade;
- Consumos e custos com a energia;
- Dados dos sistemas de energia (tipo e capacidade dos sistemas de distribuição de ar, calor ou frio; temperaturas do ar quente e frio);
- Características do equipamento de controlo para os sistemas de AVAC;
- Dados sobre a ocupação do edifício por períodos diferenciados: dias úteis, feriados e fins-de-semana).

2.3- Sistemas de Gestão de Energia

2.2.1 - Sistemas de Contagem Inteligente e Telecontagem

Um sistema de contagem inteligente é um medidor de electricidade, gás ou água que pode ser lido remotamente [27]. No caso específico da electricidade, estes sistemas permitem um melhor controlo dos consumos, quer para a empresa fornecedora quer para o consumidor. Embora já existam vários sistemas deste tipo, estes apresentam diversas deficiências e custos avultados, principalmente para consumidores de Baixa Tensão [28].

No entanto, uma das medidas apontadas na lista indicativa de exemplos de medidas trans-sectoriais de melhoria da EE elegíveis presente no Anexo III de [29] é, precisamente, a implementação de contadores e de sistemas inteligentes de contagem como, por exemplo, instrumentos de contagem individuais geridos à distância e facturação detalhada.

A implementação destes sistemas inteligentes de contagem e de telecontagem tem como objectivo prevenir possíveis falhas de serviço, além de permitir também uma redução de custos. Um sistema deste género poderá ter as seguintes funções [28]:

- Contagem de energia eléctrica;
- Gestão de perdas;

- Leitura remota automática;
- Transmissão de dados de medição;
- Medição detalhada disponível para o utilizador do sistema;
- Gestão do consumo de energia eléctrica de forma flexível e automática;
- Balanço de energia activa em secções da rede de distribuição;
- Detecção e localização de perdas e fraudes;
- Controlo das condições dos dispositivos de medição e sistema de alarme para redes de distribuição;
- Recepção e armazenamento de dados centralizados;
- Diferenciação de tarifas;
- Pré-pagamento;
- Preparação de dados para facturação;
- Corte/Conexão remota.

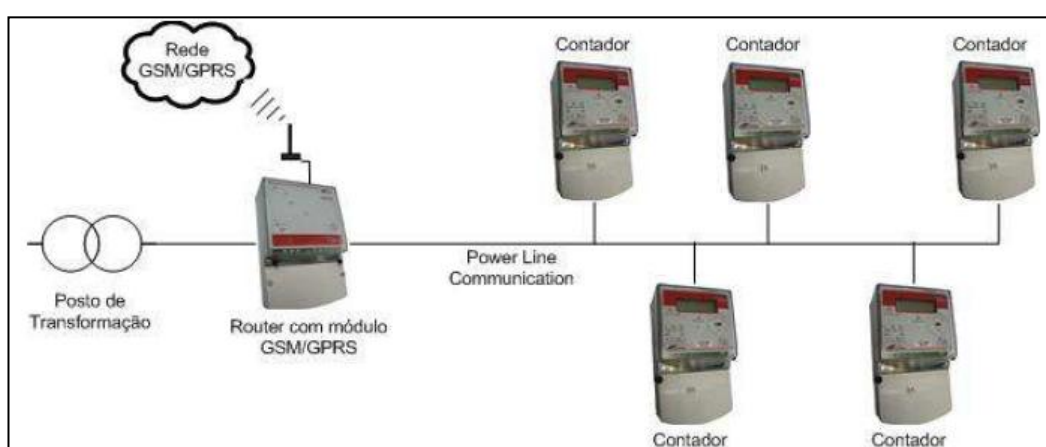


Figura 2.3 - Esquema de um possível sistema de telecontagem [28].

A Figura 2.3 esquematiza um possível sistema de telecontagem. Apesar de ser um sistema que traz benefícios a consumidores, pois permite um melhor controlo dos custos, são os fornecedores quem mais podem lucrar uma vez que é facilitada a recolha de dados.

No entanto, a instalação de sistemas de monitorização de consumos nas instalações constituem sistemas de gestão de energia muito úteis, tanto a fornecedores como a consumidores finais [28].

2.2.2 - Sistemas de Monitorização de Consumos em Edifícios

A quantificação dos consumos energéticos é um factor com elevado impacto na utilização racional de energia. Portanto, um sistema que permita dar uma visão global e desagregada dos consumos e dos respectivos custos é muito útil na gestão energética de um edifício.

Estes sistemas são designados de sistemas de monitorização e permitem otimizar dos custos de exploração da instalação e de equipamentos, possibilitando a sua monitorização. Desta forma, é possível identificar desperdícios de consumos, fazer a contabilização energética e auxiliar na gestão da instalação.

Todas estas funções resultam em inúmeras vantagens [30].

Um sistema de monitorização permite o controlo de custos assim como verificar as poupanças associadas a MRE. Além disso, uma vez que os dados são tratados em tempo real

permite alertar serviços de manutenção para consumos anómalos. Estes sistemas efectuem ainda:

- Leituras parciais em tempo real;
- Recolha automática de dados em formato digital;
- Cálculo de parâmetros de qualidade de energia;

2.2.3 - Sistema Power Net - Smartwatt Energy Solutions

O sistema *Power Net* é utilizado pela empresa *Smartwatt* tendo em vista a contabilidade e monitorização energética de edifícios.

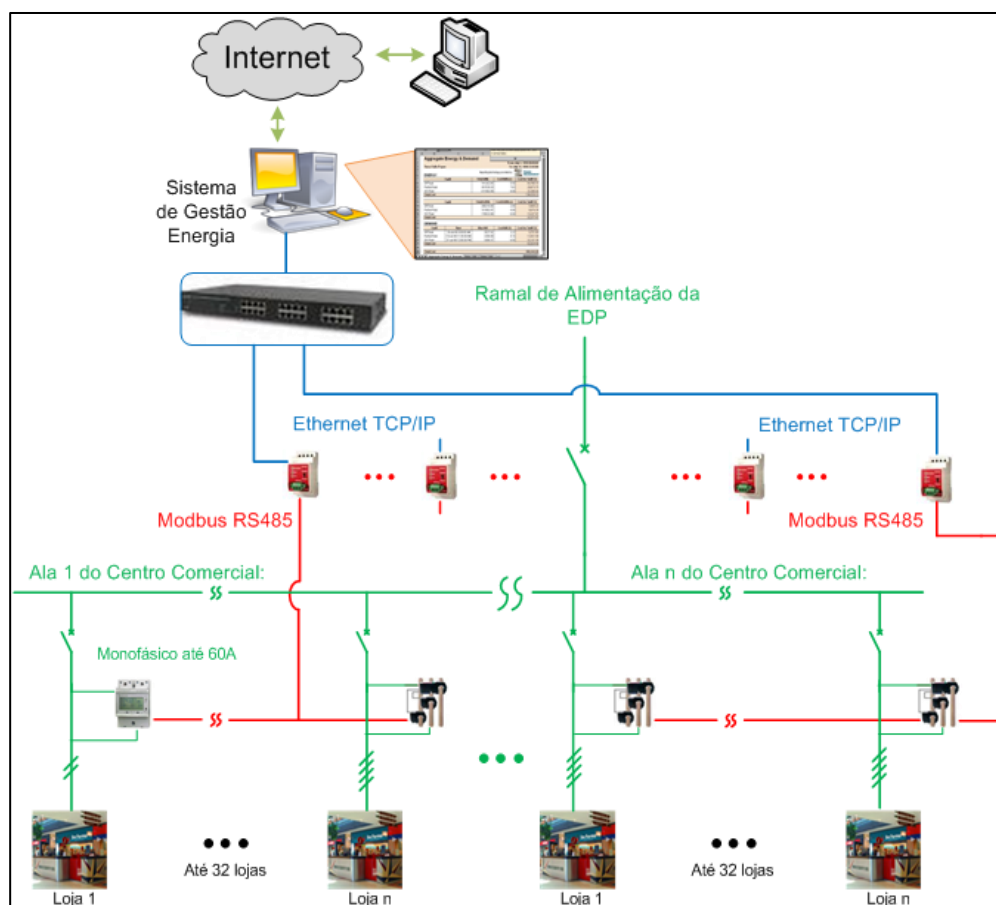


Figura 2.4 - Sistema de Gestão de Energia para um centro comercial.

A Figura 2.4 representa o sistema de gestão de energia, neste caso aplicado a um centro comercial.

A arquitectura exposta consiste na medição e análise dos parâmetros energéticos dos edifícios, necessitando para isso, de uma interligação entre zonas por via de um meio físico de comunicações.



Figura 2.5 - Analisadores de energia do sistema *Power Net*.

Os analisadores (Figura 2.5) são tipicamente colocados nos quadros eléctricos pois têm uma grande facilidade de instalação, sendo extremamente importantes uma vez que permitem a monitorização local. Assim, é possível fazer supervisão da energia em ambiente industrial/serviços, manutenção preventiva nas linhas eléctricas e sistemas e, ainda, alocação de custos por departamento e/ou unidades de produção.

Em alternativa a estes analisadores, podem usar-se analisadores com *displays*. Apesar de permitir uma monitorização local, esta solução apresenta um custo mais elevado.

O *software* utilizado para fazer a monitorização é um sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) que, entre outras características, permite a programação remota de todos os equipamentos, aquisição e monitorização em tempo real dos dados dos analisadores, armazenamento em base de dados centralizada e gestão de alarmes.

Em suma, este sistema aliado a um bom *software* de gestão de energia SCADA permite:

- Visualizar parâmetros de qualidade de energia;
- Manutenção preventiva de sistemas eléctricos;
- Parametrisação remota de dispositivos;
- Leituras em tempo real;
- Apresentação de dados históricos (des)agregados através de gráficos ou tabelas;
- Caracterização de consumos;
- Acesso via internet através de *password*.

Um sistema idêntico a este aqui apresentado já se encontra em funcionamento no Município de Ponte da Barca.

Em Abril do ano 2008 foi celebrado um protocolo entre a *Smartwatt*, o município, o INESC Porto (Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto) e o INEGI (Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial). De entre as diversas medidas de EE propostas à autarquia, destaca-se o sistema de contabilidade energética. Com alterações do tarifário e alterações de potência contratada, o sistema permite uma poupança imediata de 4%, o que equivale a um ganho de 15 mil euros por ano [31].

2.2.4 - *iMeter* - ISA (*Intelligent Sensing Anywhere*)

ISA é uma empresa que começou por lançar soluções tecnológicas para o mercado *Oil & Gas* com resultados muito positivos.

A empresa venceu, no ano de 2006 em Copenhaga, o primeiro prémio na categoria de inovação dos *European Utility Awards*. O *iMeter*, concebido para ler os consumos de electricidade, gás e água em tempo real, foi apresentado na mais importante conferência

internacional na área de medição, a *Metering Europe* 2006. Desde então, as empresas de *Gas & Oil* de todo o mundo têm utilizado a solução de monitorização para tanques e contadores, o que já provou contribuir para reduções significativas dos custos logísticos evitando milhares de toneladas de CO₂ emitido.

Neste momento em que todos estão cientes das preocupantes mudanças climáticas, a ISA desenvolveu uma tecnologia adequada para ajudar a poupar energia em casa ou no local de trabalho.

Após um forte investimento ao longo de três anos e a instalação de 50.000 sistemas de telemetria nos cinco continentes, a ISA lança no mercado uma solução de eficiência energética para o mercado SOHO (*Small Office, Home Office*) assinalando o encerramento da cimeira de Copenhaga.

O *iMeter* é uma solução de fácil instalação e utilização. É constituído por sensores de electricidade, gás e água, por um *display* que permite a visualização da informação em tempo real. Essa informação é obtida por um concentrador que recolhe toda a informação e permite acesso através da internet, recorrendo a um router ou então por uma ligação 3G.

Os consumidores podem integrar uma comunidade de utilizadores e partilhar a sua experiência interligando-se em redes sociais na internet. Todos estes componentes da solução *iMeter* poderão levar os consumidores que utilizam esta tecnologia a alterarem os seus comportamentos, reduzindo as facturas entre 15 a 20%.

O *iMeter*, apesar de estar focado na poupança de energia, é uma solução versátil que poder ter aplicações diversificadas: o *iMeter* pode promover a segurança registando, por exemplo, a abertura de porta ou detectando fugas de gás. De facto, analisando os consumos globais de electricidade, aos quais se pode adicionar também uma medição dos consumos de gás e água, é possível traçar um perfil de consumos. Esses perfis revelam alterações de comportamento que podem ser preocupantes e, sobre os quais, quem recebe essa informação, pode agir imediatamente [32].

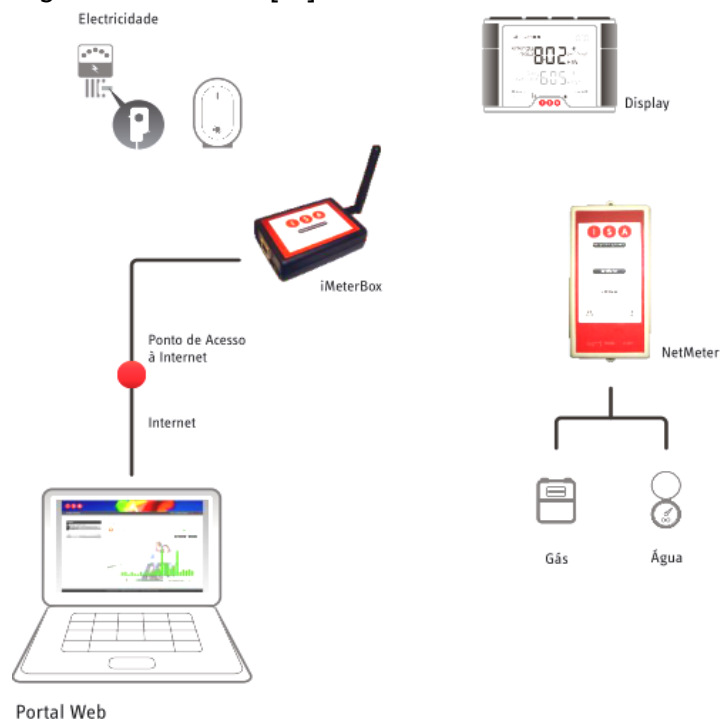


Figura 2.6 - Esquema de funcionamento do *iMeter* [32].

Como a figura anterior mostra (Figura 2.6), a medição dos consumos de electricidade é feita usando um sensor colocado de forma a medir o consumo total, ou os equipamentos ou a iluminação. Através de um transmissor, os dados recolhidos são enviados via internet e aí pode ser feita a monitorização dos consumos.



Figura 2.7 - Sensor de medição de consumo (esquerda); Transmissor (direita) [32].

Esta tecnologia será também instalada nas escolas, através do programa EnerEscolas [33], que pretende otimizar recursos energéticos nas escolas, promovendo práticas de eficiência no seio da comunidade escolar. A alteração dos comportamentos nas escolas vai espelhar-se em casa de alunos e professores, reflectindo-se num contributo efectivo para a sustentabilidade ambiental da sociedade.

2.4- Padrões de Consumo de Electricidade num Edifício

Os padrões de consumo de electricidade servem para, de certa forma, caracterizar o consumo de um edifício tendo em conta o tipo de consumidor, as tecnologias de consumo, os níveis de ocupação e a diferenciação de períodos de consumo.

O Decreto-Lei n.º 79/2006 indica alguns padrões de referência da utilização de edifícios. São perfis que variam com a potência, quer de iluminação, quer de equipamentos, com os níveis de ocupação de cada edifício e com o período de consumo [11].

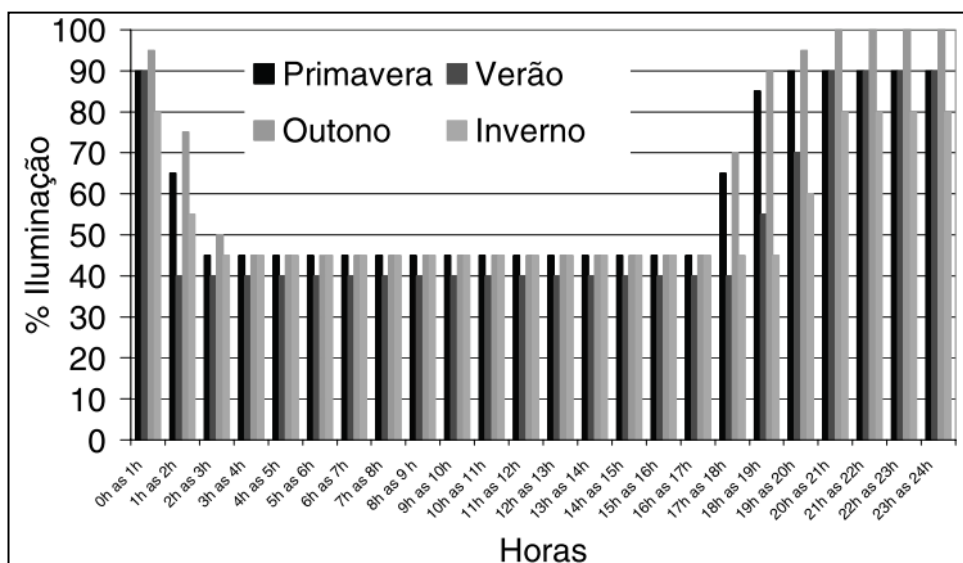


Figura 2.8 - Perfis de Iluminação para Hotéis em diferentes períodos [11].

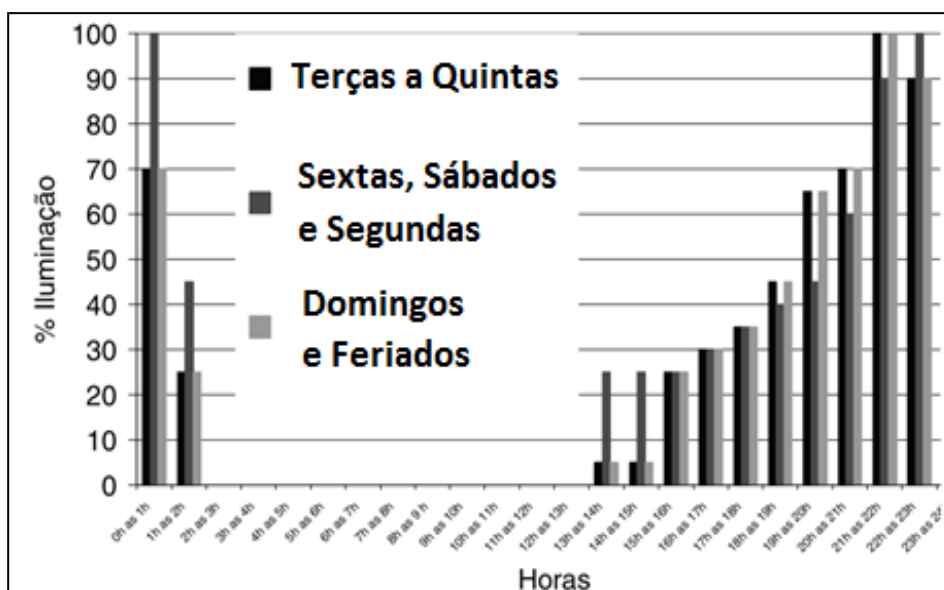


Figura 2.9 - Perfis de Iluminação para Cinemas e Teatros em diferentes períodos [11].

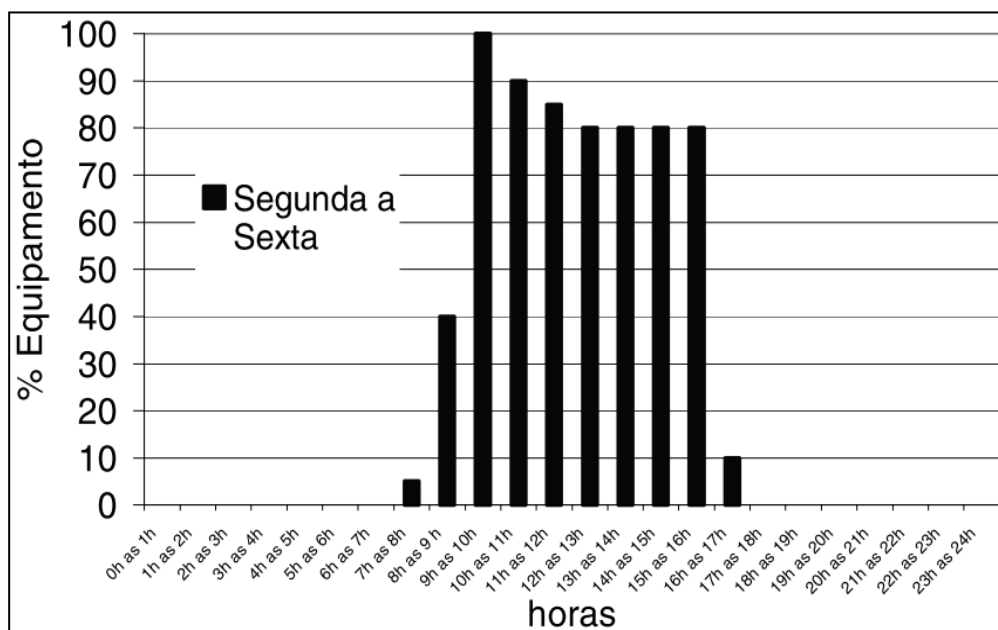


Figura 2.10 - Perfis de equipamentos para Bibliotecas em diferentes períodos [11].

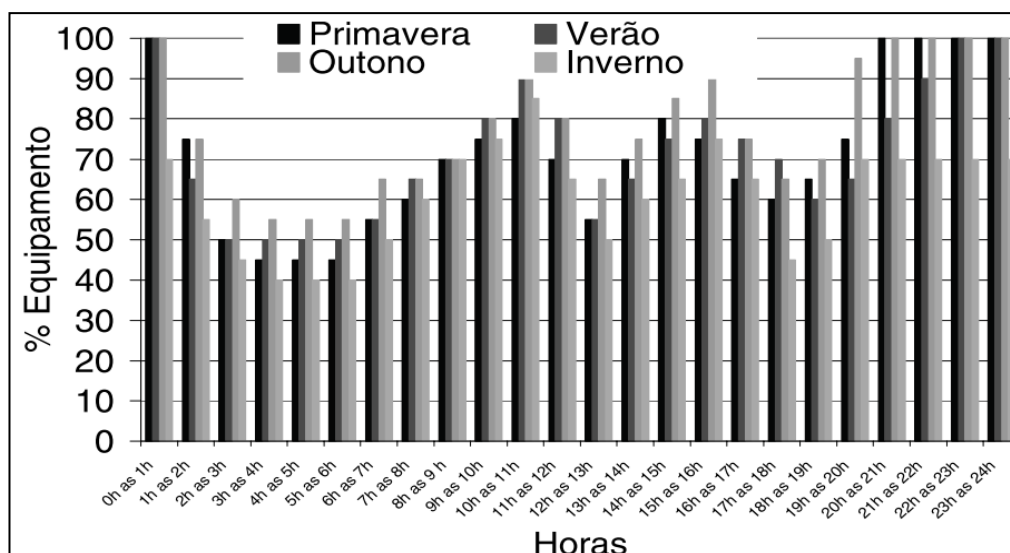


Figura 2.11 - Perfis de equipamentos para diferentes períodos [11].

Como se pode verificar pela análise as figuras anteriores (Figura 2.8, Figura 2.9, Figura 2.10 e Figura 2.11), existe uma grande variedade de períodos de consumo de electricidade que varia de hora para hora e, de mês para mês. Este facto é devido à especificidade do edifício.

2.3.1 - Consumo de Electricidade nos Edifícios

O consumo de electricidade satisfaz mais de metade dos consumos dos edifícios (52%). A Figura 2.12 apresenta a desagregação dos consumos por utilização final, permitindo efectuar a avaliação do consumo para os principais tipos de utilizações da energia nos edifícios.

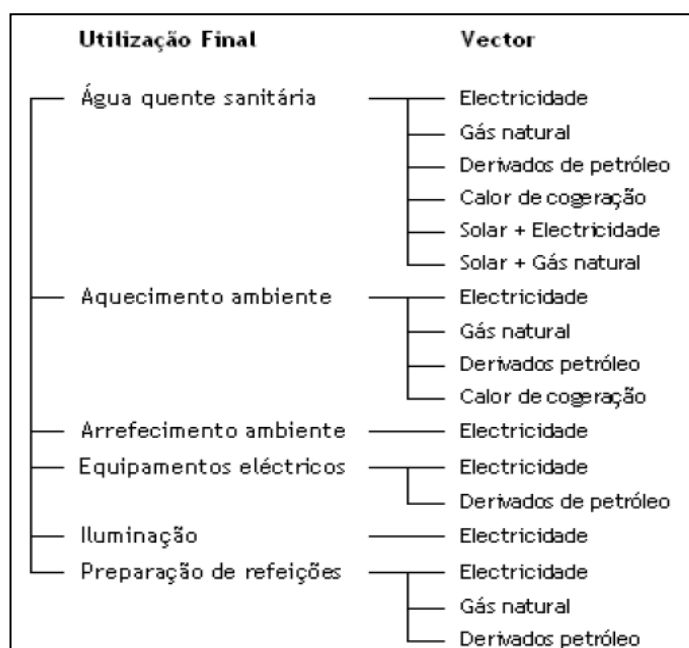


Figura 2.12 - Representação em árvore da procura nos edifícios.

A electricidade é mais procurada na utilização de equipamentos eléctricos e iluminação mas existem outras áreas onde, para além de outros vectores serem procurados, também se recorre à energia eléctrica [34].

A maioria dos edifícios possui sistemas de AVAC, *Chillers* ou bombas de calor servindo, parte ou a totalidade da instalação, de forma a garantirem as condições de conforto. São exemplos desses edifícios os escritórios, hotéis, hospitais, bancos, cinemas e restaurantes. A electricidade utilizada por estes sistemas tem um peso significativo no consumo total do edifício.

A energia eléctrica também pode ser usada em edifícios que necessitam de sistemas de Água Quente Sanitária (AQS) e que disponibilizem ao utilizador, de forma quase imediata, a água quente. Existem, ainda, edifícios que têm serviços específicos como, por exemplo, lavandarias. Este facto ocorre também em muitos hotéis e hospitais, o que conduz a um acréscimo do consumo de energia por unidade de área do edifício.

Outros edifícios têm muitos equipamentos de refrigeração: balcões frigoríficos, expositores de refrigerados e de congelados, como é o caso de supermercados e hipermercados. Também aqui, o consumo de energia necessário para garantir a conservação dos produtos resulta num maior consumo de energia por unidade de área do edifício.

Portanto, o consumo e o tipo de energia utilizada nos edifícios dependem fortemente do fim a que o mesmo se destina [35].

Todos os sistemas referidos anteriormente podem recorrer à electricidade para funcionar, logo, a procura por MRE deve contemplar uma análise mais profunda nesses pontos.

2.3.2 - Caracterização dos Diagramas de Consumo de Electricidade

A caracterização detalhada dos consumos torna possível a identificação de eventuais acções ou medidas a implementar, com vista a uma utilização mais eficiente e racional da energia [26].

As características do consumo impõem a modulação da energia consumida no tempo, através de uma função que traduz a variação desse consumo, ao longo do dia e dos dias do ano. Essa função tem a designação de diagrama de cargas [36].

Os diagramas de carga representam a potência utilizada ao longo do tempo e referem-se tanto a países, centrais, edifícios ou, até mesmo, equipamentos [37].

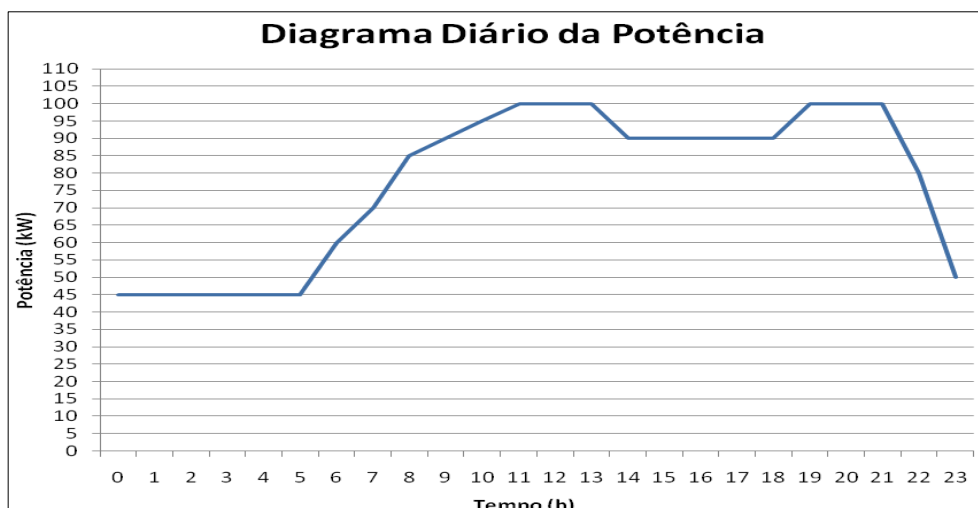


Figura 2.13 - Diagrama de potência diário.

A análise de consumos pode ser feita recorrendo-se a três tipos de diagramas: potência (Figura 2.13), energia mensal e anuais de ponta mensal.

Os diagramas de potência diários servem para caracterizar o diagrama diário de uma carga ou de um agregado de cargas. Os diagramas de energia mensal servem para prever a facturação de cada consumidor. Os diagramas anuais de ponta mensal servem para prever a ponta de consumos agregados [38].

A necessidade de electricidade não é constante ao longo do tempo, a sua procura varia ao longo do dia, dos meses (estações de ano), em função do tipo de dia (Feriado, Sábado, Domingo ou dia útil) ou consoante a actividade do ser humano [39].

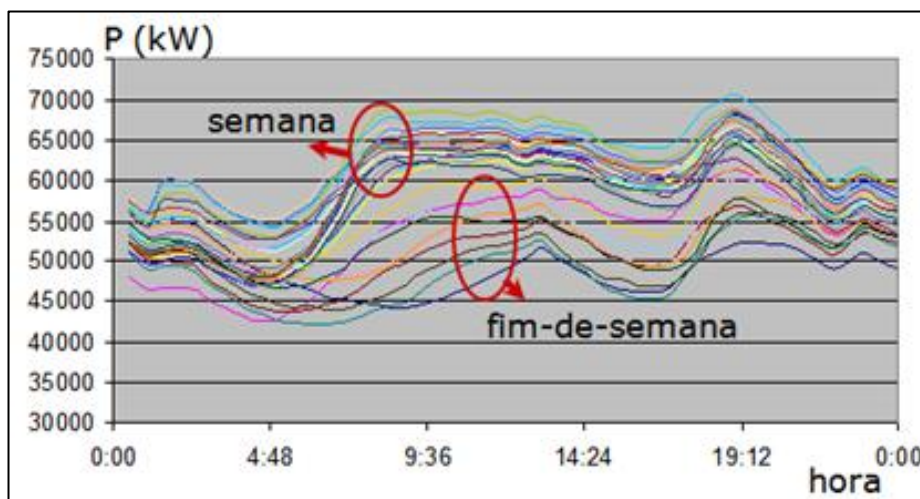


Figura 2.14 - Variação do diagrama diário da potência ao longo do mês [38].

Como a figura anterior mostra (Figura 2.14), existe uma relação muito grande entre os consumos verificados durante a semana e aqueles verificados durante os fins-de-semana.

Além disso, diferentes tipos de consumidores ou tecnologias de consumo apresentarão diferentes padrões de consumo, sendo também natural que essas diferenças sejam representadas nos diagramas de carga [39].

Desta forma, a construção dos diagramas pode ser feita das seguintes formas, como indica a Figura 2.15 [38]:

- Por tipo de consumidor:
 - Efectuar medições para um vasto conjunto de consumidores e dias;
 - Formar grupos de diagramas típicos e relacioná-los com informação comercial;
 - Identificar o diagrama típico e a incerteza partindo da informação comercial;
 - Agregar consumidores pelos seus diagramas típicos e correspondentes incertezas.
- Por tecnologia de consumo (Figura 2.15):
 - Caracterizar o diagrama de consumo típico de cada tecnologia de consumo;
 - Estimar a potência instalada para cada tecnologia e prever o correspondente diagrama;
 - Agregar os diagramas resultantes de cada tecnologia para cada consumidor;
 - Agregar os diagramas para todos os consumidores.

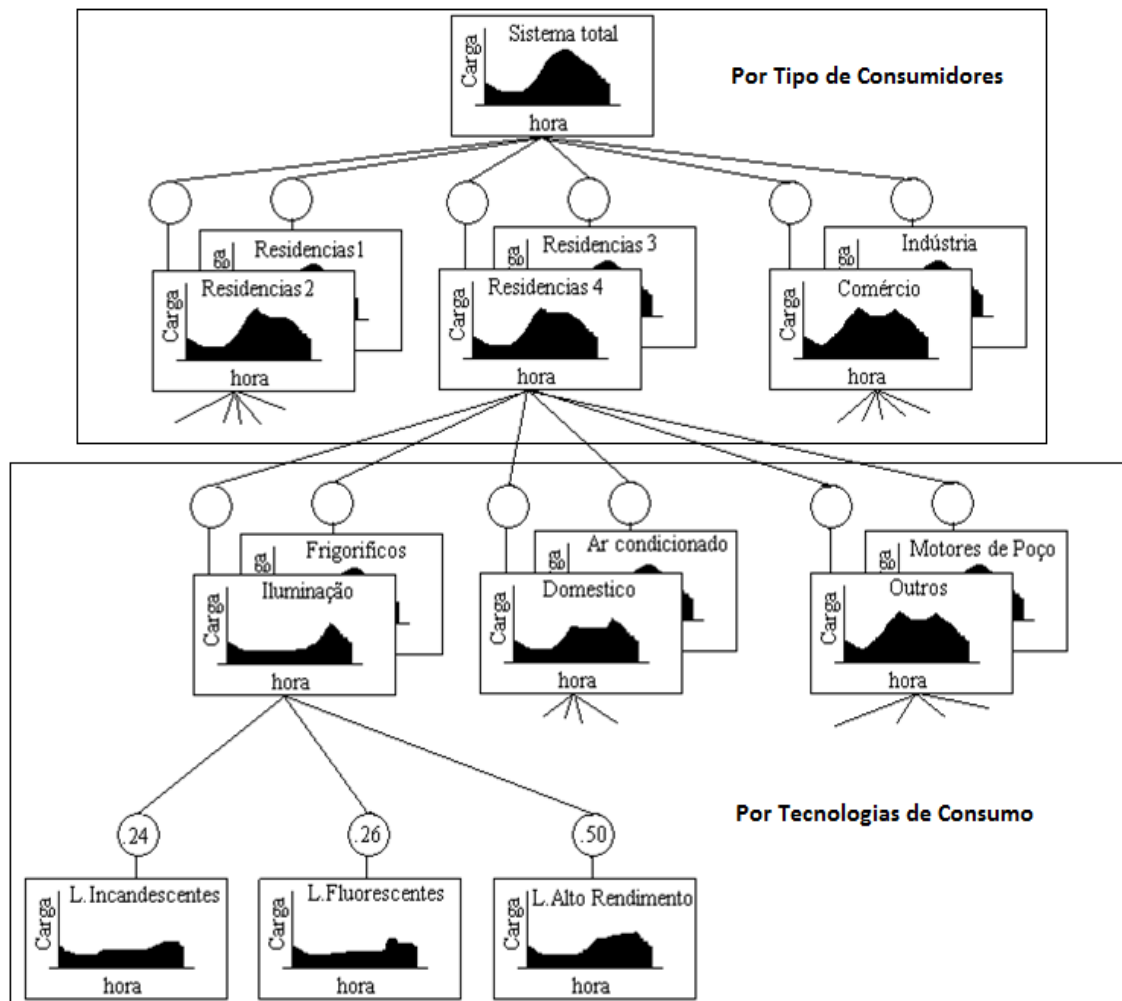


Figura 2.15 - Construção de diagramas por tipo de consumidor e por tecnologias de consumo [38].

Existem dois factores essenciais à caracterização dos diagramas: a forma e a energia. O primeiro diz respeito ao tipo de consumidor (doméstico, comercial, indústria, etc.) e ao ciclo

semanal (semana, fim-de-semana, feriado). Estes parâmetros influenciam a forma do diagrama, na medida em que cada um tem um padrão de consumo diferente. Para se obter um diagrama normalizado é necessário dividi-lo pela energia.

A energia do diagrama está relacionada com a potência (contratada ou instalada) [38].

Para se caracterizar numericamente os diagramas podem calcular-se alguns índices [40].

$$\text{Energia: } W = \int_0^t P(t)dt = P \times \Delta t \quad (2.1)$$

$$\text{Potência média: } P_{med} = \frac{W}{T} \quad (2.2)$$

$$\text{Factor de vazio: } f_0 = \frac{P_{min}}{P_{m\acute{a}x}} \quad (2.3)$$

$$\text{Factor de carga: } f_c = \frac{P_{med}}{P_{m\acute{a}x}} \quad (2.4)$$

$$\text{Utilização da ponta (h): } h_c = \frac{W}{P_{m\acute{a}x}} = \frac{P_{med} \times T}{P_{m\acute{a}x}} = f_c \times T \quad (2.5)$$

$$\text{Factor de ponta relativo ao instalado: } f_{pi} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_i} \quad (2.6)$$

Onde:

- P_i - Potência instalada;
- $P_{m\acute{a}x}$ - Potência máxima;
- P_{med} - Potência média;
- P_{min} - Potência mínima.

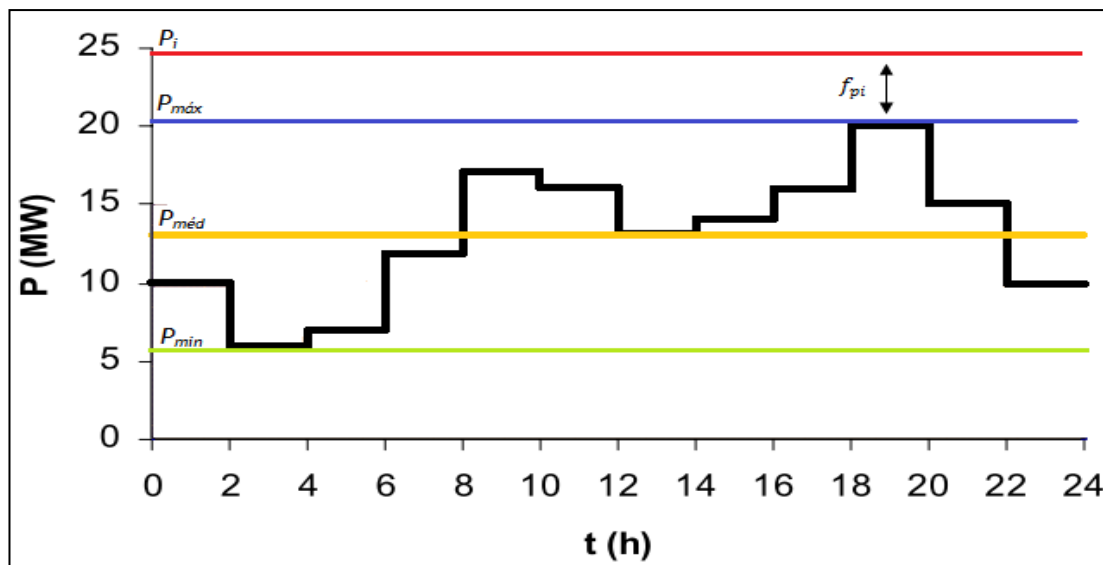


Figura 2.16 - Interpretação dos diversos índices. Adaptado de [40].

A agregação de diagramas de energia pode ser feita, bastando para isso somar cada diagrama, como indica a Figura 2.17.

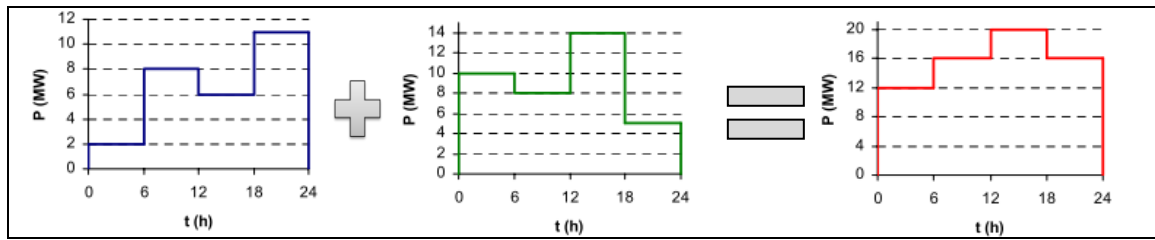


Figura 2.17 - Agregação de diagramas [40].

Neste contexto, pode ser útil calcular dois tipos de factores: o factor de simultaneidade e o factor de diversidade.

$$\text{Factor de Simultaneidade: } f_s = \frac{p_{global}^{max}}{\sum_i p_i^{max}} \quad (2.7)$$

$$\text{Factor de Diversidade: } f_d = \frac{1}{f_s} \quad (2.8)$$

Onde:

- p_{global}^{max} - Potência Máxima Global

Capítulo 3

Modelo de Caracterização e Desagregação de Consumos

3.1- Introdução

O objectivo da presente dissertação é desenvolver um modelo que optimize a coerência das informações recolhidas durante a realização de uma auditoria, que caracterize e desagregue os consumos eléctricos de um edifício através de simulação.

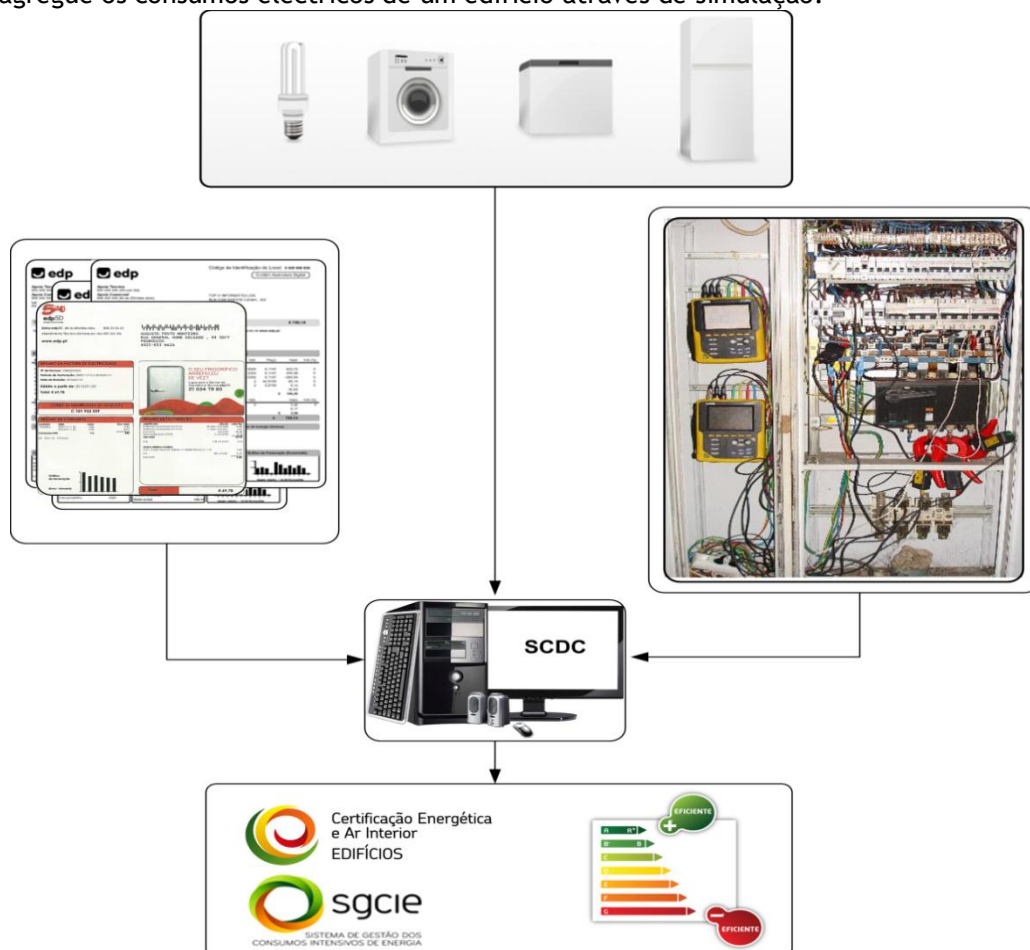


Figura 3.1 - Sistema de Caracterização e Desagregação de Consumos (SCDC).

Além do modelo, pretende-se criar uma ferramenta onde seja possível tratar as informações recolhidas na auditoria para, posteriormente, serem inseridas no modelo desenvolvido. À ferramenta e metodologia desenvolvida dá-se o nome de Sistema de Caracterização e Desagregação de Consumo (SCDC) e está exemplificado na Figura 3.1. Pretende-se maximizar a coerência entre as fontes de informação de modo a poder integrar os resultados em processos de certificação de edifícios.

Durante a realização de uma auditoria a um edifício são recolhidas diversas informações. Junto da pessoa responsável do edifício recolhem-se informações sobre as facturas eléctricas nos últimos anos. Procura-se também saber o horário de funcionamento do edifício, bem como das áreas e equipamentos mais importantes. Com isto, pretende-se construir perfis de ocupação de áreas, de utilização de equipamentos e iluminação (tecnologias de consumo).

Depois, durante a visita às instalações, é feito o levantamento de todo o material eléctrico, procurando-se recolher, sempre que possível, a potência de cada equipamento.

Com estas informações já seria possível fazer uma caracterização básica dos consumos, embora pouco fiável. À excepção das facturas eléctricas, todas as outras informações são de cariz teórico e, portanto, para atestar tais informações, são realizadas medições durante, alguns dias, nas áreas consideradas mais importantes.

As medições recolhidas vão permitir visualizar o diagrama de consumo das zonas medidas para esses dias.

É na junção de todas estas informações que se pode obter uma caracterização e desagregação dos consumos fiável, contudo, é precisamente neste ponto que existem dificuldades. O modelo desenvolvido no decorrer deste trabalho pretende facilitar todo o processo de introdução de dados, assim como otimizar todas as informações.

3.2- Base Geral do Funcionamento do Modelo

O modelo criado tem como objectivo efectuar a simulação dos consumos eléctricos de um edifício, com base numa optimização da coerência de todas as fontes de informação:

- Facturas eléctricas;
- Medições efectuadas em diferentes zonas, para as diferentes tecnologias de consumo;
- Padrões típicos de consumo para equipamentos e iluminação;
- Potência dos elementos consumidores de electricidade.

Com esta optimização é possível obter uma caracterização e desagregação dos consumos mais realista e fiável.

A caracterização dos consumos de um edifício é dada pelos diagramas de consumo. Estes podem referir-se à energia total do edifício, às zonas mais importantes ou às tecnologias de consumo.

É importante que sejam obtidos diagramas para diferentes dias e diferentes meses pois, como visto no capítulo 2.3.2, o consumo num edifício varia com o mês e com o tipo de dia.

Para além da influência que os padrões de consumo têm sobre a energia consumida (diagrama de consumo), esta também depende da potência que é utilizada (2.1).

Desta forma, é necessário desenvolver na ferramenta mecanismos que permitam a conjugação destes padrões de consumo dos sistemas eléctricos, como as respectivas potências, de modo a fazer a simulação dos diagramas de consumo.

O resultado da simulação em conjugação com as facturas eléctricas e as medições efectuadas pretendem dar ao modelo dados reais, para que este optimize os diagramas de consumo simulados. Estes são mais realistas quanto maior for a aproximação com os valores reais.

3.2.1 - Facturas de Electricidade

Como já foi referido, as facturas da electricidade são elementos recolhidos durante a AE junto dos responsáveis do edifício.

A legislação obriga a que as AE sejam feitas periodicamente. No âmbito do SCE, devem ser feitas de 6 em 6 anos. No âmbito do SGCIE, se o edifício tiver um consumo igual ou superior a 1000 tep/ano, as AE devem ser feitas de 6 em 6 anos, mas se o consumo estiver compreendido entre 500 tep/ano e 1000 tep/ano passam a ser feitas de 8 em 8 anos.

Devem ser recolhidas o maior número possível de facturas relativamente a anos completos. A integração deste tipo de informação tem como objectivo dar ao modelo uma ideia do consumo real ao longo dos anos.

A introdução destes valores na ferramenta é feita de forma manual e devem ser introduzidos os valores da energia consumida (em kWh). Através de simulação serão obtidos valores de consumo para um ano dividido pelos respectivos meses.

3.2.2 - Medições

A realização de medições durante as AE tem como objectivo verificar o diagrama de consumo nos dias em que estas são efectuadas. Os gráficos obtidos representam os diagramas de cargas acumulados dos circuitos medidos.

Como foi referido no capítulo 2.1.5, as medições devem ser efectuadas às principais tecnologias de consumo, aquelas que poderão ter mais peso no consumo total do edifício. No entanto, e porque muitas vezes é a forma mais prática de se fazerem as medições, os instrumentos de medida são colocados nos quadros eléctricos de forma a medirem um determinado circuito. Neste, podem estar agregadas várias tecnologias de consumo, ou seja: podem fazer-se medições ao consumo global do edifício, ao consumo de toda a iluminação ou de equipamentos. Da mesma forma podem-se obter medições para diferentes zonas do edifício.

Toda esta informação deve estar identificada claramente para que seja tratada pela ferramenta. Esta recebe a indicação das tecnologias de consumo que estão englobadas na medição efectuada, o tipo de dia de consumo (dias úteis ou feriados e fins-de-semana) e respectivo mês.

Os instrumentos de medida registam os valores de energia consumida de hora em hora, ou seja, de acordo com os perfis definidos anteriormente. Desta forma, será possível fazer posteriormente comparações com os valores simulados.

3.2.3 - Definição e Construção dos Diagramas de Consumo Normalizados

Da análise de diversos casos relativamente ao consumo de edifícios para um dado mês, verifica-se que este se divide por dois tipos de dias em que as diferenças de consumo são mais notórias: dias úteis e fins-de-semana (os feriados incluem-se neste tipo).

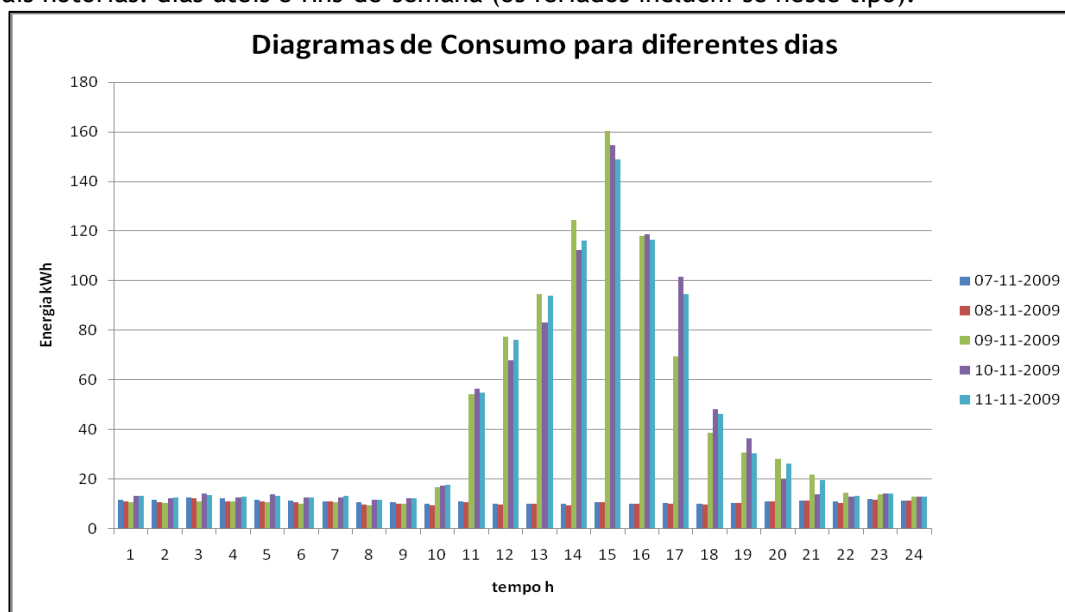


Figura 3.2 - Diagramas de consumo medidos para diferentes dias.

Observando a Figura 3.2 pode verificar-se que existem 3 dias com comportamentos idênticos mas ao mesmo tempo distintos dos comportamentos dos outros dias. Em particular os dias 7 e 8, que correspondem respectivamente a Sábado e Domingo, apresentam um diagrama idêntico. Os restantes dias correspondentes a dias úteis apresentam formas distintas quando comparados com os dias 7 e 8, mas muito semelhantes entre si.

Analisando as figuras seguintes (Figura 3.3 e Figura 3.4) verifica-se que a energia consumida para diferentes edifícios é diferente, apesar de se manter a distinção entre consumos efectuados em tipos de dias diferentes.

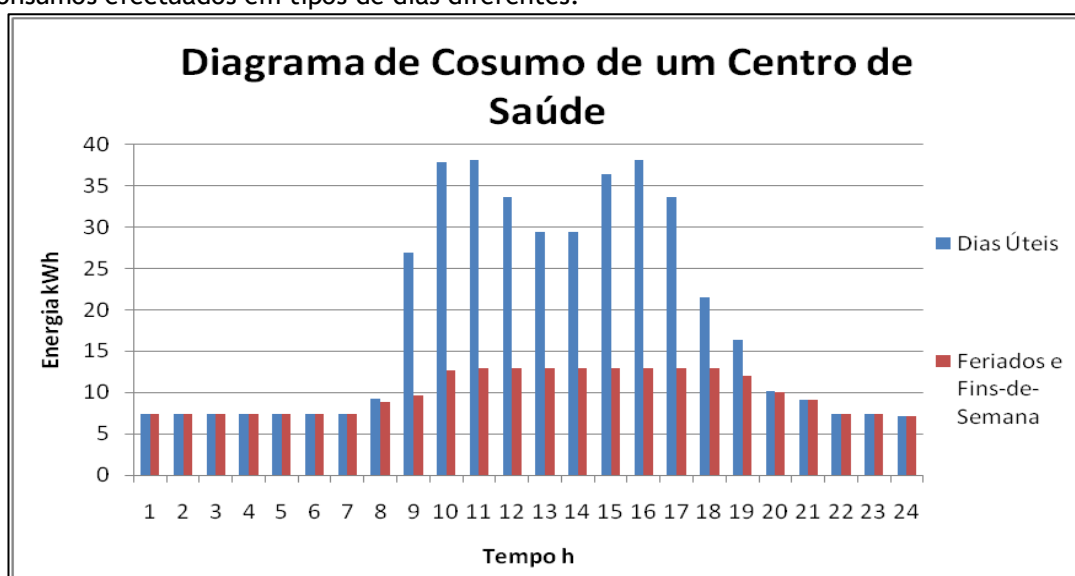


Figura 3.3 - Análise dos diagramas de consumo diário num Centro de Saúde para diferentes tipos de dias.

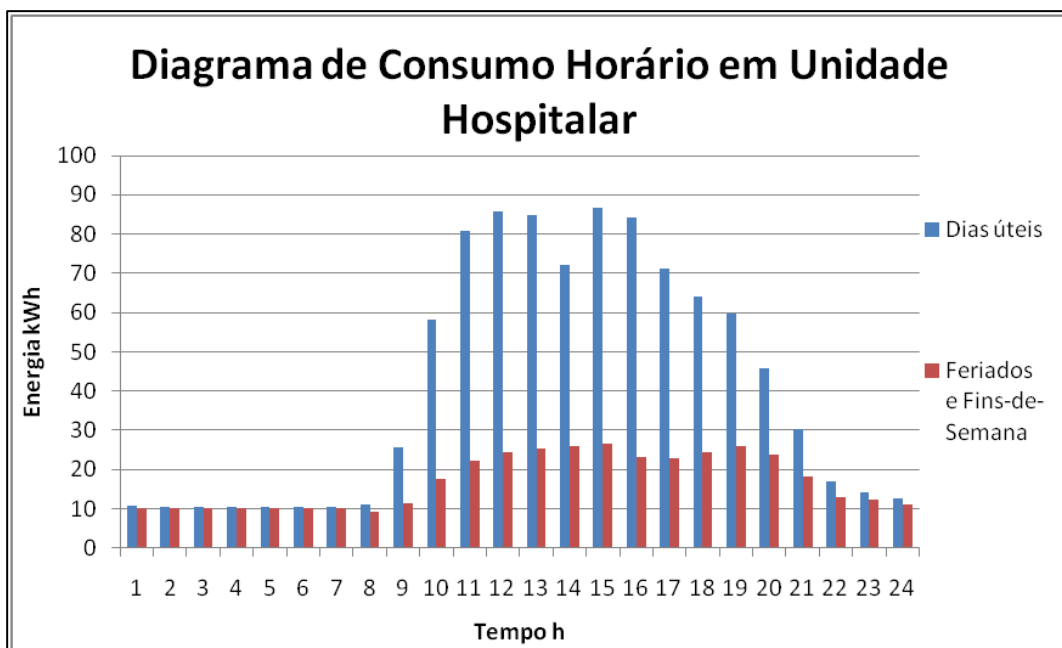


Figura 3.4 - Análise dos diagramas de consumo diário numa Unidade Hospitalar para diferentes tipos de dias.

No entanto, verifica-se que o consumo varia consoante o mês, ou seja, apesar de em cada mês se continuarem a distinguir os tipos de dias referidos, o consumo de cada tipo pode apresentar diferentes variações de mês para mês (Figura 3.5 e Figura 3.6).

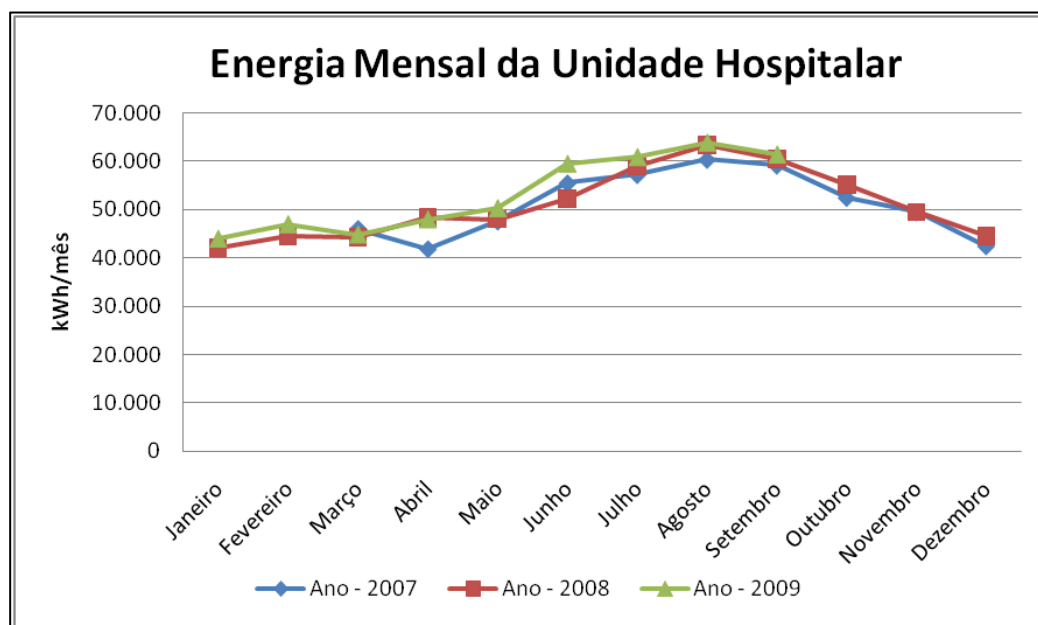


Figura 3.5 - Evolução do consumo mensal numa Unidade Hospitalar.

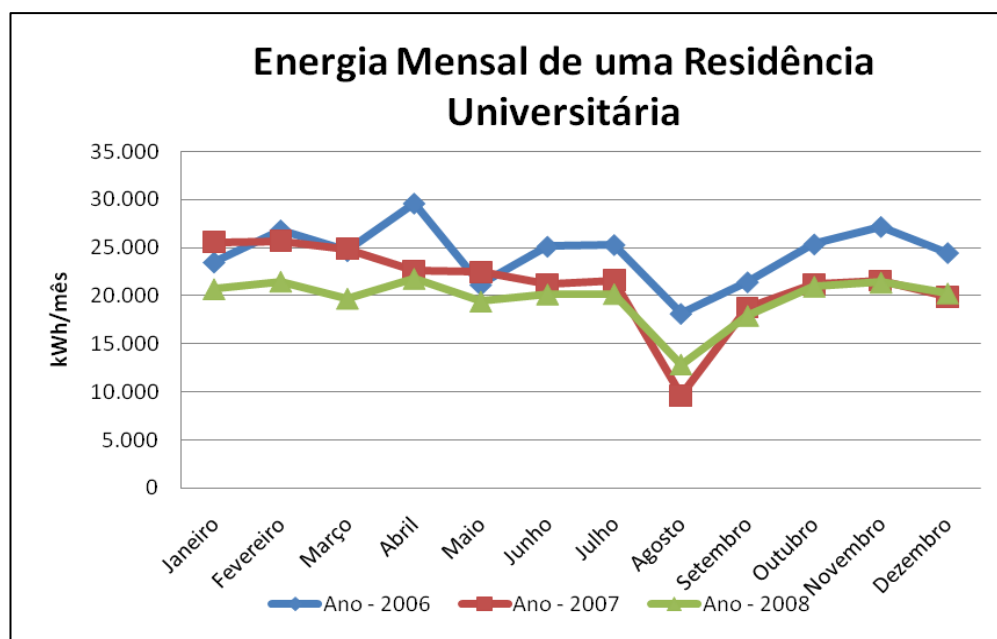


Figura 3.6 - Evolução do consumo mensal numa Residência Universitária.

De facto, dependendo da função do edifício, o consumo varia muito, tanto a nível diário como a nível mensal. Isso é notório quando se analisa a Figura 3.6, relativa a uma residência universitária. No mês de Agosto, correspondente ao mês de férias do ano lectivo, há um decréscimo no consumo, ao contrário do que acontece no caso da unidade hospitalar.

Averiguando agora a utilização de electricidade num edifício verifica-se que o consumo advém de várias tecnologias de consumo. No entanto, podem encontrar-se tecnologias com funcionamentos distintos, ou seja, dependendo da sua função ou da zona onde estão inseridos, têm consumos diferentes, em momentos distintos do dia e/ou ao longo do mês.

Identificadas estas características relativas à sazonalidade ao longo do mês, ao consumo em diferentes meses, e às tecnologias consumidoras de electricidade justifica-se adequar a ferramenta para que contemple estas variáveis. Todas estas informações são importantes para depois serem utilizadas pelo modelo de optimização.

De modo a caracterizar melhor o edifício, os perfis serão relativos a cada tecnologia de consumo (equipamento ou a cada circuito de iluminação), sendo que é possível fazer a diferenciação das zonas onde cada tecnologia está inserida. Assim, para cada tecnologia, a ferramenta permite a introdução de perfis para os doze meses, sendo que cada mês se encontra dividido pelos dois tipos de dias: dias úteis e feriados/fins-de-semana.

Como já foi referido, o perfil de consumo indica a energia consumida ao longo do tempo. No entanto, como o consumo varia consoante o tipo de tecnologias e consoante o tipo de consumidores, e se pretende criar uma ferramenta dinâmica que facilite a inserção dos dados, foi criada uma base de dados de Perfis Normalizados (PN).

Cada tecnologia tem funcionamentos distintos. Por isso, a cada uma é atribuído um perfil para cada tipo de dia, para um mês típico. Quando um perfil para um determinado tipo de dia é seleccionado, fica aplicado a esses dias e para todos os meses. No entanto, se para determinados meses o perfil for diferente, é possível alterá-lo sem influenciar os restantes.

O objectivo destes PN é tratar a informação acerca dos intervalos de tempo (Δt), de acordo com o funcionamento das respectivas tecnologias, num determinado tipo de dia, para que assim, seja possível dar uma forma ao perfil. Os dias são divididos em 24 Δt , ou seja,

estão divididos em intervalos de uma hora, sendo que cada Δt pode variar de 0% a 100%, dependendo do tempo de funcionamento nesse intervalo.

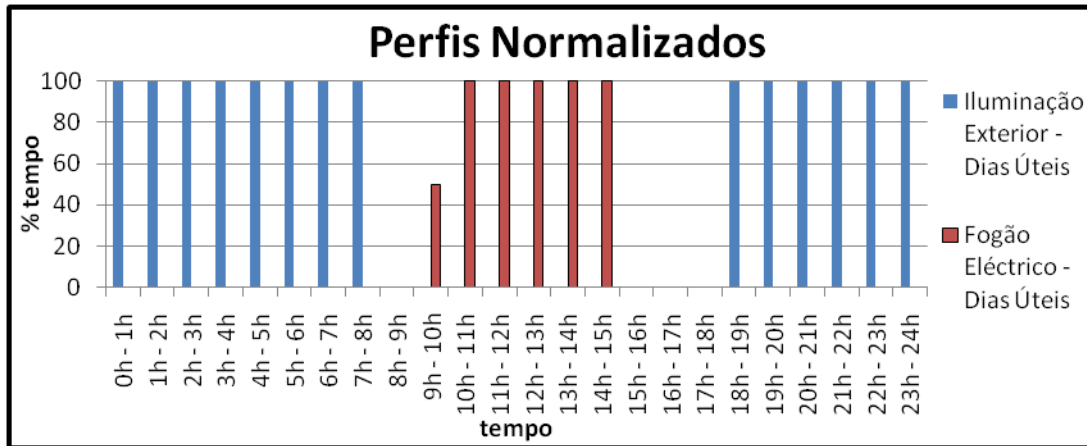


Figura 3.7 - Exemplos de perfis normalizados.

Como se pode verificar pela Figura 3.7, as tecnologias de consumo apresentadas funcionam em intervalos de tempo diferentes. Para o caso da iluminação constata-se que funciona de modo contínuo desde as 0 horas até às 8 horas, e depois das 18 horas até às 24 horas. Já para o caso do fogão eléctrico o funcionamento das 10 horas até às 14 horas é contínuo. Porém, no intervalo entre as 9 horas e as 10 horas apenas funciona 30 minutos pois $\Delta t = 50\%$.

Desta forma, fica definido o perfil normalizado que, daqui para a frente, será tratado como uma matriz, [PN], constituída por uma linha e 24 colunas [1x24]. Cada elemento da matriz equivale a um Δt_j em que j varia de 0 a 23, relativo a cada hora do dia e pode corresponder a um dia útil (1) ou a um feriado ou fim-de-semana (2).

$$[PN]_{d,m} = [\Delta t_1 \quad \Delta t_2 \quad \dots \quad \Delta t_j] \quad (3.1)$$

Onde:

- $j \in [1; 23]$;
- $d \in [1; 2]$; índice do tipo de dia. 1 – dia útil; 2 – feriado ou fim-de-semana;
- $m \in [1; 12]$ corresponde aos 12 meses do ano;
- Δt é a percentagem de utilização na hora j ;
- $[PN]_{d,m}$ corresponde ao perfil normalizado para um determinado tipo de dia d no mês m .

3.2.4 - Potência das Tecnologias de Consumo

Para simplificar o processo de inserção de dados foi criada uma pequena base de dados de equipamentos e as suas potências típicas. Procedeu-se de forma idêntica para a iluminação, guardando informações típicas relativamente aos tipos de lâmpadas e aos tipos de balastros. Assim, durante a inserção de dados é possível inserir a informação já guardada.

No entanto, como existe uma grande variedade de tecnologias de consumo, com diversas potências adequadas às necessidades de cada edifício, a ferramenta permite que sejam inseridas outras manualmente.

Apesar de se ter como referência a potência instalada das tecnologias de consumo, a potência usada ao longo do tempo varia com a utilização que é dada (Figura 3.8).

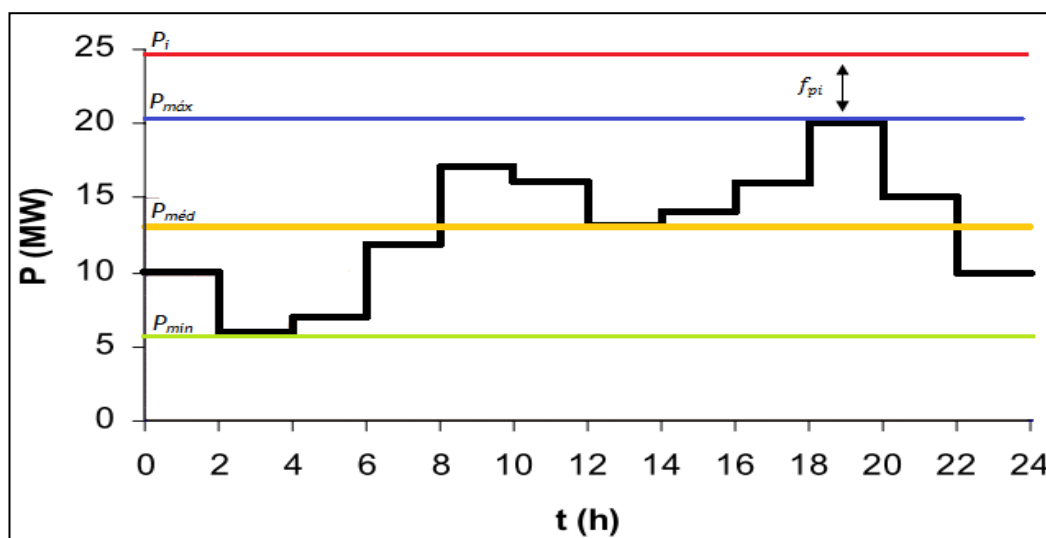


Figura 3.8 - Variação da potência utilizada ao longo do tempo.

A relação entre a potência instalada (que é conhecida) e a potência máxima (que não se conhece), ou seja, o factor de ponta relativo ao instalado f_{pi} (equação 2.6), é o ponto-chave do modelo desenvolvido.

O facto de não se conhecer a potência máxima utilizada traduz-se na necessidade de encontrar uma forma que permita determinar esse valor. Quando se calcula a energia consumida para uma determinada tecnologia, esta irá depender apenas da potência utilizada e do tempo em que funciona. Mas como apenas se conhece a potência de referência (instalada) da tecnologia, ao fazer esse cálculo obtém-se um valor de energia superior ao que realmente se verifica na prática.

O f_{pi} não é mais que um factor de escala aplicado à potência, que varia entre 0 e 1, e será a variável dependente no modelo de optimização. Se for 0, quer dizer que a tecnologia não funcionou, se for 1, significa que a potência máxima utilizada é igual à potência instalada. No fundo, a função do f_{pi} é fazer variar o diagrama de consumo na sua amplitude. Apesar de não se saber também o verdadeiro valor do factor, conhecem-se valores limites em que este se pode encontrar.

A título de exemplo, a iluminação normalmente funciona com valores de potência próximos à potência instalada, e nestes casos o f_{pi} aproxima-se de 1. No caso dos frigoríficos verifica-se o oposto. Embora existam pequenos intervalos de tempo em que funcionam à potência instalada, a maioria do tempo funcionam a cerca de 40% dessa potência, e assim f_{pi} poderá ser limitado à variação num intervalo entre 0,2 e 0,4.

Desta forma, o que se pretende é que o modelo faça uma simulação dos consumos optimizando toda a informação das facturas e das medições, ou seja, através da variação de todos os f_{pi} conseguir obter resultados coerentes com as informações reais.

3.2.5 - Síntese da Base de Funcionamento do Modelo

Em síntese, teremos como entradas no modelo do SCDC os PN, a potência das tecnologias de consumo com os respectivos limites máximos e mínimos de f_{pi} , as facturas mensais e as medições, de acordo com o fluxograma da Figura 3.9.

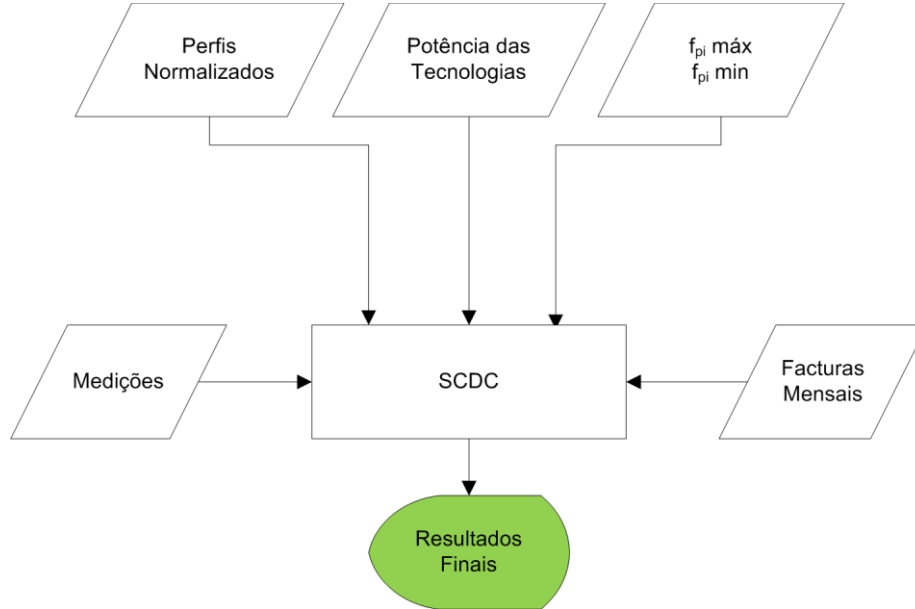


Figura 3.9 - Fluxograma representativo das informações que entram no SCDC.

Como se pretende efectuar uma optimização de todas estas informações é necessário formular matematicamente o modelo.

3.3- Formulação do Modelo de Optimização

Após apresentar a base de funcionamento da ferramenta que vai tratar as variáveis a inserir no modelo, será exposta de seguida a formulação do modelo de optimização.

O modelo consiste em fazer uma optimização da coerência das fontes de informação atrás mencionadas. Essa optimização será conseguida através da simulação dos diagramas de consumo de cada tecnologia por alteração do valor de f_{pi} . Pretende-se calcular para cada tecnologia k o diagrama de consumo. Para isso, como já foi referido, será necessário conjugar as equações 2.1 e 2.6 adaptando também o conceito de PN resultando:

$$[W]_{k,d,m} = f_{pi_{k,d}} \times P_k \times [PN]_{k,d,m} = [W_1 \quad W_2 \quad \dots \quad W_j] \quad (3.2)$$

Onde:

- $[W]_{k,d,m}$ é o diagrama de consumo simulado para o tipo de dia d relativo à tecnologia k , no mês m ;
- $d \in [1; 2]$; índice do tipo de dia. 1 - dia útil; 2 - feriado ou fim-de-semana;
- $m \in [1; 12]$ corresponde aos 12 meses do ano;
- $f_{pi_{k,d}}$ é o factor de ponta relativo ao instalado da tecnologia k que funciona num tipo de dia d ;

- P_k é a potência da tecnologia k ;
- $[PN]_{k,d,m}$ é o perfil normalizado de um tipo de dia d para a tecnologia k , no mês m ;
- W_j é o valor de energia para a hora j ;
- $j \in [1; 23]$ é a hora do dia.

O somatório de todos os diagramas de consumo das diversas tecnologias para um determinado dia corresponde ao diagrama de consumo do edifício nesse dia. De forma análoga, quando se fazem medições para um determinado conjunto de tecnologias de consumo, pode-se fazer o somatório de $[W]_k$ correspondentes, e assim fazer a comparação da simulação com o valor real medido.

Como se podem efectuar várias medições a locais ou tecnologias diferentes (

Figura 2.2), cada medição deve estar claramente identificada, assim como as tecnologias envolvidas, l . Isto porque é necessário obter o diagrama simulado correspondente $[W]_{p,l}$.

Desta forma, as medições serão identificadas pelo índice $p \in [1; q]$ em que q é o número total de medições. A cada medição p correspondem l tecnologias medidas.

O diagrama medido, $[M]_{p,l}$, tem dimensão igual a $[W]_{p,l}$, portanto pode-se calcular o erro da simulação em relação à medição dado por:

$$e_{p,l,d,m}^M = ([W]_{p,l,d,m} - [M]_{p,l,d,m})^2 \quad (3.3)$$

Onde:

- $e_{p,l,d,m}^M$ é o erro da medição p para o tipo de dia d no mês m para as tecnologias l ;
- l são as tecnologias envolvidas na medição p ;
- $p \in [1; q]$ em que q é o número total de medições efectuadas;
- $[W]_{p,l,d,m} = \sum_{k=1}^l [W]_{k,d,m}$: é o diagrama simulado correspondente à medição p ;
- $[M]_{p,l,d,m}$ é o diagrama da medição p para l tecnologias num determinado tipo de dia d num determinado mês m ;

Contudo, as facturas reais (FR) apenas indicam o valor total de energia consumida num mês, sendo por isso necessário somar cada elemento da matriz $[W]_k$ para obter o valor total para um dia. Repetindo o processo para os restantes dias dum mês e também para todas as n tecnologias do edifício, obtém-se a energia mensal simulada (FS).

$$FS_m = \sum_{k=1}^n \sum_{d=1}^{23} \sum_{j=1}^{23} [W]_{k,d,m} \quad (3.4)$$

Onde:

- FS_m é o valor mensal de energia simulado para o mês m ;
- $m \in [1; 12]$ correspondente aos 12 meses do ano;
- n é o número total de tecnologias do edifício;
- $j \in [1; 23]$ é a hora do dia;
- $[W]_{k,d,m} = [W_1 \ W_2 \ \dots \ W_j]$.

Assim, pode-se calcular um outro erro:

$$e_{a,F_m} = (FS_m - FR_{a,m})^2 \quad (3.5)$$

Onde:

- e_{a,F_m} é o erro da factura para o mês m do ano a ;
- $a \in [1;c]$ em que c é o número de anos completos para os quais existem facturas;
- $FR_{a,m}$ é energia real da factura para o mês m no ano a .

De modo a determinar o erro total das facturas calcula-se:

$$e_F^{total} = \sum_{a=1}^c \sum_{m=1}^{12} e_{a,F_m} \quad (3.6)$$

O objectivo de calcular estes erros tem a ver com a pretensão de otimizar todas as informações. Tendo os valores dos erros, facilmente se cria um cenário de optimização. A formulação da optimização deste modelo é a seguinte:

- *minimizar:* $\sum_{p=1}^q (e_F^{total} + e_{p,l,d,m}^M)$ (3.7)
- *Sujeito a:* $f_{pi_{k,d}}^{min} \leq f_{pi_{k,d}} \leq f_{pi_{k,d}}^{max}$
- *Onde:*
 - $e_F^{total} = f(f_{pi_k})$
 - $e_{p,l,d,m}^M = f(f_{pi_k})$

Definida a formulação do modelo de optimização de todas as variáveis, importa referir a ferramenta auxiliar usada para a resolução do problema. Como foi explicado no Capítulo 1 deste trabalho, a ferramenta auxiliar utilizada foi o Solver, um aplicativo do *Microsoft Excel* de fácil manuseamento que permite a criação de diversas rotinas de cálculos e iterações matemáticas de difícil solução manual.

O Solver faz análises de hipóteses, isto é, efectua um processo de alteração dos valores das células variáveis para saber como essas alterações afectam a função objectivo do problema, de modo a atingir o resultado pretendido e mediante o cumprimento das restrições impostas.

A optimização numérica é baseada em algoritmos robustos de grande confiança. Para a resolução de problemas lineares utiliza-se o método *Simplex* e o método do Gradiente Reduzido Generalizado para problemas não-lineares. É este último que será usado para a resolução do modelo desenvolvido, visto tratar-se de um problema não-linear em que é minimizado o quadrado dos erros.

A inserção da formulação do modelo desenvolvido no Solver é simples: a célula de destino, ou seja, a função objectivo será aquela onde é calculado o somatório de todos os erros, com o objectivo de minimizar esse valor. As células variáveis são todos os f_{pi} , sendo que as restrições são aplicadas a este factor, mediante as condições estabelecidas para os f_{pi}^{min} e f_{pi}^{max} .

Quando o Solver inicia a resolução do problema, são efectuadas várias iterações até encontrar o valor óptimo na função objectivo. Isto acontece quando o número máximo de iterações ou o tempo máximo definido foi atingido. Ocorre também quando numa sequência

de 5 iterações o valor da função objectivo não varia num valor superior ao grau de convergência definido.

O fluxograma seguinte (Figura 3.10) mostra o funcionamento do modelo.

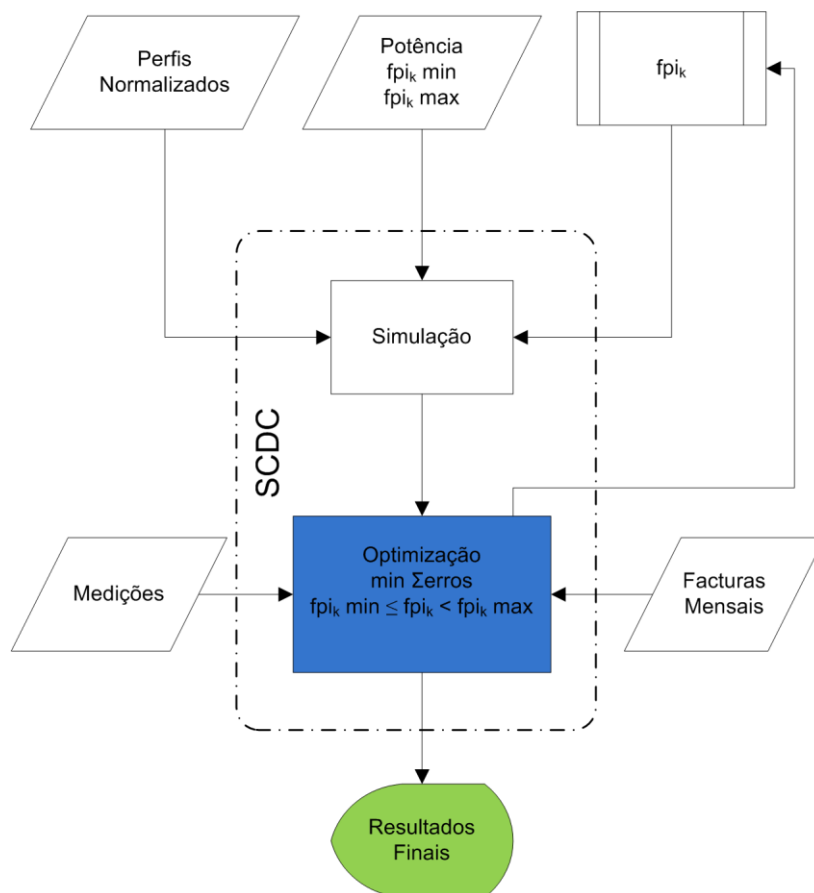


Figura 3.10 - Fluxograma do SCDC.

Após a inserção das informações conhecidas, inicia-se o processo iterativo de optimização. A cada iteração os valores de f_{pi_k} são alterados e utilizados em nova simulação. Os resultados dessa simulação voltam a ser comparados com os reais. Enquanto não se atinge a minimização dos erros, todo o processo anterior é repetido. Quando o método iterativo converge, o processo pára e são obtidos os resultados finais.

Como resultado da simulação optimizada obtém-se o diagrama de consumo de todo o edifício, para todos os meses e para todos os dias. Obtém-se, ainda, uma desagregação desse consumo total em diagramas de consumos para todas as tecnologias e ainda a informação da potência máxima utilizada por cada uma.

3.4- Metodologia para Detecção de Incoerências

O modelo desenvolvido tem como principal objectivo optimizar a coerência de todas as informações, no entanto, nem sempre é possível fazê-lo.

Muitas vezes, a informação recolhida é insuficiente e isso poderá originar incoerências na introdução dos dados, nomeadamente nos PN.

Noutros casos, a incoerência surge nas medições efectuadas. Como estas são realizadas em curtos períodos de tempo, podem não caracterizar na perfeição o consumo. Aliás, o período de medição pode até ser um período atípico do funcionamento do edifício, pois podem ocorrer pontualmente consumos anómalos, tendo em conta o comportamento típico.

Desta forma, é importante que no final da optimização se consigam detectar as incoerências referidas anteriormente.

Os resultados principais são visualizados no *Excel* sob a forma de gráficos comparativos dos valores reais com os obtidos na simulação. É na análise destes gráficos que se podem detectar incoerências. Podem encontrar-se discrepâncias no gráfico comparativo da evolução mensal do consumo ou então nos gráficos que comparam as medições efectuadas com as respectivas simulações.

Nestes casos as decisões cabem ao auditor, que poderá saber onde se encontra o erro. Se as informações recolhidas sobre o funcionamento das tecnologias e do edifício estão incompletas, então o erro pode estar nos PN adoptados, ou nas restrições do f_{pi} , que deverão ser corrigidos. Por outro lado, se estas informações estão correctas, o erro pode estar na medição efectuada. O processo de medição poderá ter sido efectuado num período atípico e, neste caso, poder-se-á optar por realizar nova medição.

3.5- Síntese Geral

Até este ponto foram mostradas as bases fundamentais para o funcionamento do modelo e as respectivas funcionalidades criadas para o SCDC.

Importa, neste momento, mostrar e explicar todas as etapas do modelo e o encadeamento entre elas, como mostra no diagrama da Figura 3.12. No entanto, antes disso, convém perceber o significado de cada bloco (Figura 3.11).

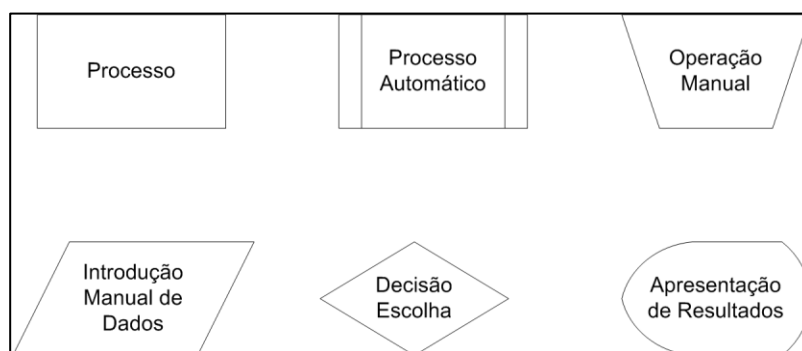


Figura 3.11 - Legenda dos diagramas de blocos.

Em primeiro lugar, todas as informações recolhidas nas auditorias são introduzidas manualmente. Após esta fase, inicia-se o processo iterativo de optimização em que os valores de f_{pi_k} são alterados automaticamente (processo automático) e utilizados em nova simulação. O processo repete-se até o método iterativo convergir, momento em que são apresentados os resultados.

Nesta fase, é feita a detecção de incoerências nos resultados, como explicado anteriormente. Se as incoerências se localizarem nos dados inseridos, podem-se alterar esses valores manualmente. No caso em que as medições são incoerentes pode fazer-se novamente

o processo de medição. Quando é feita alguma alteração pode iniciar-se novo processo de simulação.

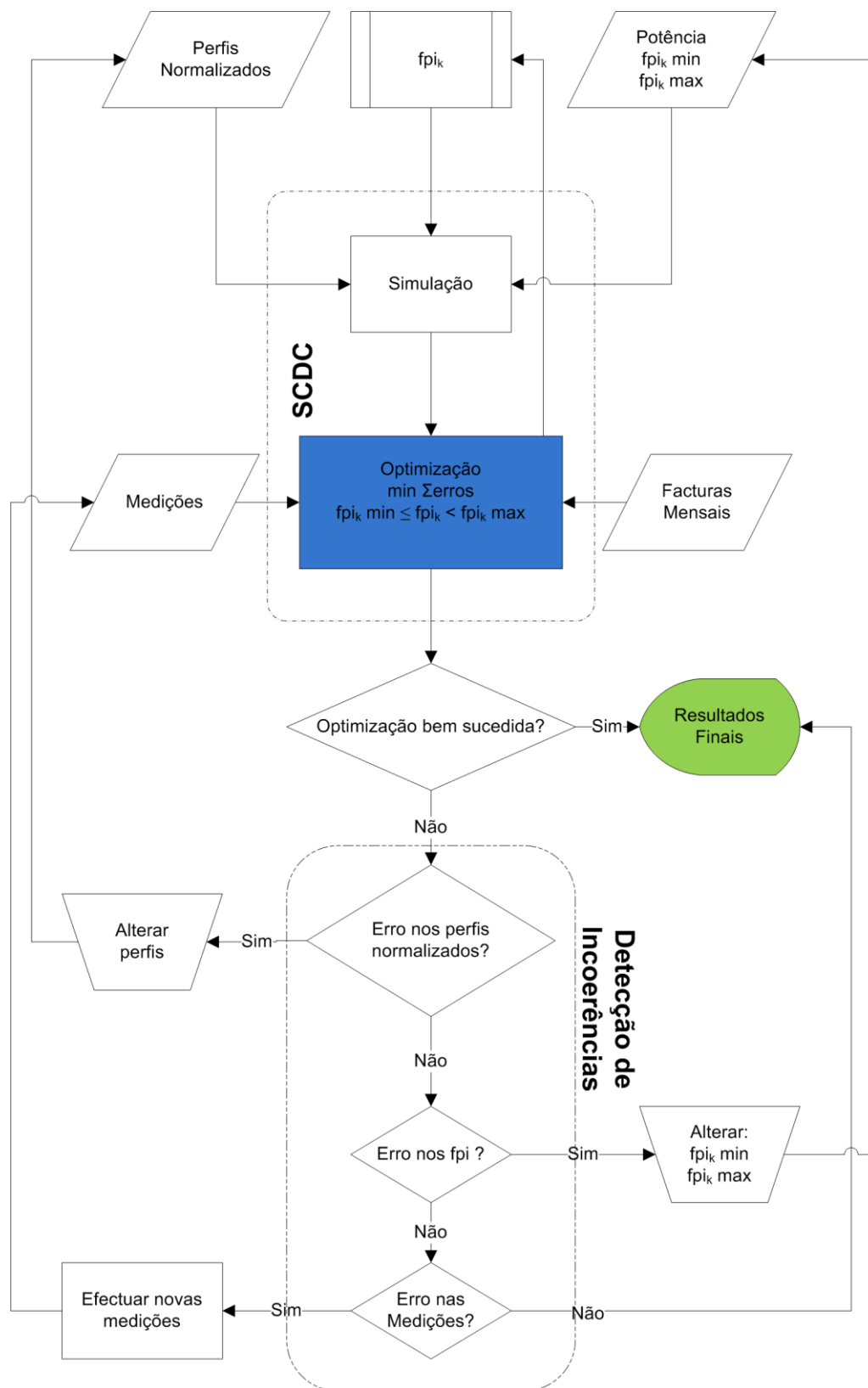


Figura 3.12 - Diagrama final do funcionamento do SCDC.

Capítulo 4

Teste do Modelo

4.1- Introdução

Após desenvolver o modelo de caracterização e desagregação de consumos torna-se necessário efectuar o seu teste. Este é um passo importante, na medida em que permitirá validar o modelo desenvolvido.

Para efectuar o teste utilizaram-se dados relativos a uma cantina universitária e fornecidos pela empresa *Smartwatt*.

Foram recolhidos os seguintes dados: facturas de electricidade dos anos anteriores; potências de todas as tecnologias de consumo, a informação da utilização típica de cada tecnologia, níveis de ocupação das diversas zonas do edifício; medições desagregadas do consumo do edifício.

4.2- Descrição do Edifício

Este edifício tem um horário de ocupação fixo ao longo do ano. Os funcionários começam a trabalhar entre as 8 e as 9 horas, sendo que acabam entre as 17 e as 18 horas. No entanto, o horário de funcionamento para os utilizadores é das 11 horas e 30 minutos até às 14 horas.

É importante referir que durante o mês de Agosto este edifício encontra-se fechado, devido ao período de férias.

O edifício encontra-se dividido em duas zonas principais, “Piso 0” e “Piso 1”, sendo estas divididas em espaços de acordo com sua localização, função e perfis (iluminação, equipamentos e ocupação). Existe, ainda, uma terceira zona, referente apenas à parte da iluminação exterior da instalação, e uma quarta, “Outros”, que se refere ao AVAC.

A Figura 4.1 mostra a organização dos diversos espaços.

Tabela 4.1 - Divisão por zonas e espaços do edifício.

Zona	Espaço
Iluminação Exterior	
	Iluminação
Outros	
	AVAC
Piso 0	
	Armazém (arcas)
	Arrumos
	Átrio
	Descargas
	Entrada Armazém
	Escadas
	Gabinete Aulas
	Montacargas
	Preparações
	Vestiários
Piso 1	
	Cantina
	Corredor Acesso
	Cozinha
	Gabinete
	Instalações Sanitárias
	Restaurante
	Snack-Bar

No que respeita às tecnologias de consumo foram contabilizadas um total de 96, 27 relativas à iluminação e 69 relativas a equipamentos.

Importa realçar os espaços onde se concentram a maioria das tecnologias e, principalmente, aquelas com uma potência instalada maior.

Tabela 4.2 - Sumário das potências instaladas nos diversos espaços.

Zona	Espaço	Iluminação	Equipamentos	Total
		Potencia Instalada (kW)	Potencia Instalada (kW)	Potencia Instalada (kW)
Iluminação Exterior		2,154	0,000	2,154
	Iluminação	2,154	0,000	2,154
Outros		0,000	30,000	30,000
	AVAC	0,000	30,000	30,000
Piso 0		5,286	58,027	63,313
	Armazém (arcas)	1,684	22,040	23,724
	Arrumos	0,060	0,000	0,060
	Átrio	0,118	0,000	0,118
	Descargas	0,995	0,000	0,995
	Entrada Armazém	0,292	0,000	0,292
	Escadas	0,211	0,000	0,211
	Gabinete Aulas	0,698	2,445	3,143
	Montacargas	0,120	11,000	11,120
	Preparações	0,756	3,902	4,658
	Vestiários	0,350	18,640	18,990
Piso 1		11,577	256,241	267,818
	Cantina	3,101	0,136	3,237
	Corredor Acesso	0,234	0,000	0,234
	Cozinha	3,459	222,565	226,024
	Gabinete	0,055	0,355	0,410
	Instalações Sanitárias	1,561	9,900	11,461
	Restaurante	0,873	10,920	11,793
	Snack-Bar	2,293	12,365	14,658
Total Geral		19,018	344,268	363,286

Como comprova a Tabela 4.2, é no Piso 1 que se verifica a maior potência instalada, quer a nível de iluminação quer a nível de equipamentos. Em ambos os casos, destaca-se o espaço da Cozinha, onde a potência instalada é maior que nos restantes espaços.

Analisando, em particular, os equipamentos deste espaço, que representam cerca de 60% da potência total instalada, verifica-se que a maior parte desta se distribui por apenas 5 equipamentos: três fritadeiras com uma potência unitária de 60 kW e duas máquinas de lavar loiça, uma com uma potência unitária de 53,8 kW e outra com 55,75 kW.

Relativamente aos espaços atrás mencionados, estes têm utilizações distintas, mediante a função de cada um.

A iluminação exterior funciona sempre no mesmo horário, das 18 horas até às 8 horas do dia seguinte.

No Piso 0 encontram-se, maioritariamente, os espaços destinados à preparação das refeições (Preparações), Descargas e ao acolhimento dos funcionários (Vestiários). Este último tem uma ocupação mais efectiva nos períodos inicial e final do horário de funcionamento do edifício. O espaço “Preparações” destina-se à preparação dos alimentos para a confecção das refeições e, portanto, é mais frequentado no início da manhã. Já o espaço destinado às Descargas é mais utilizado depois das 4 horas.

Quanto ao Piso 1 é constituído na sua maioria pela Cozinha que serve de apoio a outros três espaços: Cantina, Restaurante e Snack-Bar.

A Cozinha tem como função a confecção das refeições e, portanto, a sua ocupação inicia-se entre as 8 e as 9 horas, durando até ao final do horário de trabalho. As restantes são ocupadas maioritariamente no horário de abertura ao público.

No que respeita à energia eléctrica consumida pela cantina, esta é adquirida à EDP Serviço Universal, SA, através de um ponto de alimentação de Média Tensão (MT). Para efeitos de contagem da energia eléctrica consumida globalmente existe um contador digital que permite telecontagem, ou seja, permite remotamente a obtenção dos valores de energia activa e reactiva, para efeitos de facturação.

A rede eléctrica é composta, na sua generalidade, por um conjunto de quadros com dispositivos de comando e protecção, que asseguram a transmissão de potência, entre os diversos pontos de utilização. Todos os quadros parciais da instalação alimentam zonas bem definidas como mostra o diagrama seguinte.

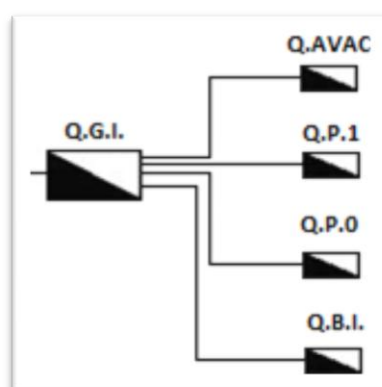


Figura 4.1 - Diagrama dos principais quadros eléctricos.

O diagrama da Figura 4.1 permite compreender como é possível efectuar a desagregação dos consumos eléctricos.

O AVAC é alimentado directamente a partir do quadro específico para o efeito, Q. AVAC. O Quadro Piso 0 (Q.P.0), Quadro Piso 1 (Q.P.1) e Quadro de Bombas de Incêndio (Q.B.I) alimentam, não só, a correspondente iluminação interna, mas também a rede de tomadas que assegura a alimentação dos equipamentos internos.

A alimentação da iluminação exterior é efectuada através do quadro geral.

4.3- Aplicação do Modelo

Numa primeira fase foram introduzidos os dados relativos às potências instaladas das tecnologias de consumo, bem como os respectivos $f_{pi_{k,d}}^{min}$ e $f_{pi_{k,d}}^{max}$ e os perfis normalizados.

Importa referir que na cantina existem 96 tecnologias de consumo ($n = 96$), e como a cada uma estão associados dois $f_{pi_{k,d}}$ dependendo dos dois tipos de dias em que podem funcionar. Assim, obtêm-se 192 variáveis, e para cada uma, duas restrições, totalizando 384.

De modo a facilitar a optimização, foram agregadas as tecnologias com modos de funcionamento idênticos. Por exemplo, existem no edifício inúmeros frigoríficos e arcas congeladoras, sendo que estes funcionam continuamente. Agregando este conjunto num único f_{pi} consegue-se uma diminuição significativa do número de variáveis. Procedeu-se do mesmo modo para os equipamentos de electrocussão de insectos, máquinas de sumo e iluminação exterior.

Seguidamente foram inseridas as informações da facturação. Foram reunidas as facturas relativas aos anos de 2006, 2007 e 2008, estando as respectivas evoluções mensais representadas na Figura 4.2:

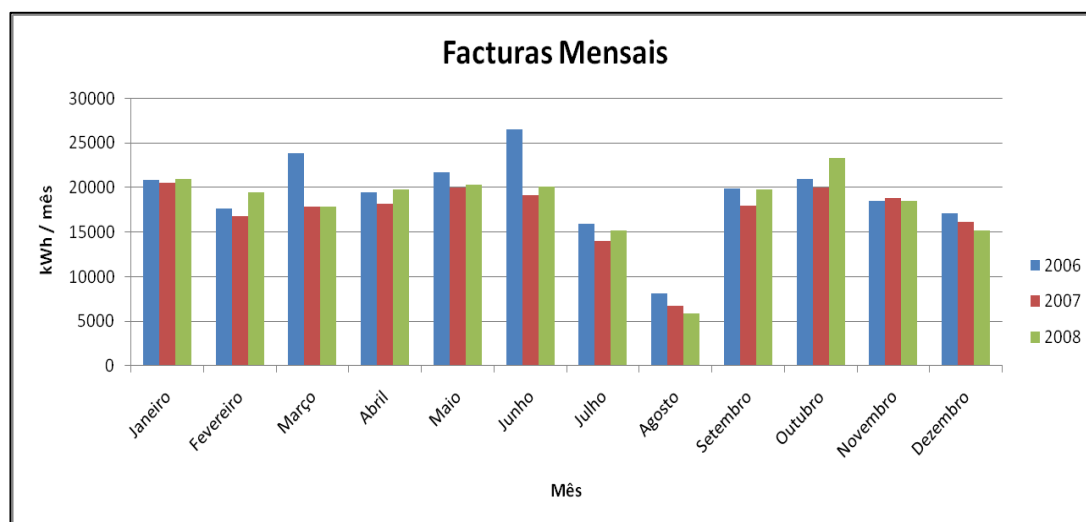


Figura 4.2 - Evolução do consumo mensal.

Como já foi referido, a cantina não funciona durante o mês de Agosto sendo tal facto visível na figura anterior. O consumo verificado neste mês justifica-se, sobretudo, pelo funcionamento de diversas arcas congeladoras e frigoríficos que não são desligados, e também pela iluminação exterior.

Com estes valores ficam definidas as facturas reais para todos os meses m dos anos contabilizados, $a \in [1; 3]$, $FR_{a,m}$. Importa definir também a factura simulada, FS_m , que será a

soma da energia consumida por cada tecnologia em todos dos dias num determinado mês e que permitirá calcular os erros associados às facturas.

$$FS_m = \sum_{k=1}^{96} \sum_{d=1}^2 \sum_{j=1}^{23} [W]_{k,d,m} \quad (4.1)$$

$$e_{a,F_m} = (FS_m - FR_{a,m})^2 \quad (4.2)$$

O erro total das facturas calcula-se da seguinte forma:

$$e_F^{total} = \sum_{a=1}^3 \sum_{m=1}^{12} e_{a,F_m} \quad (4.3)$$

Foram também efectuadas medições em pontos diferentes da instalação, de acordo com o seguinte esquema (Figura 4.3):

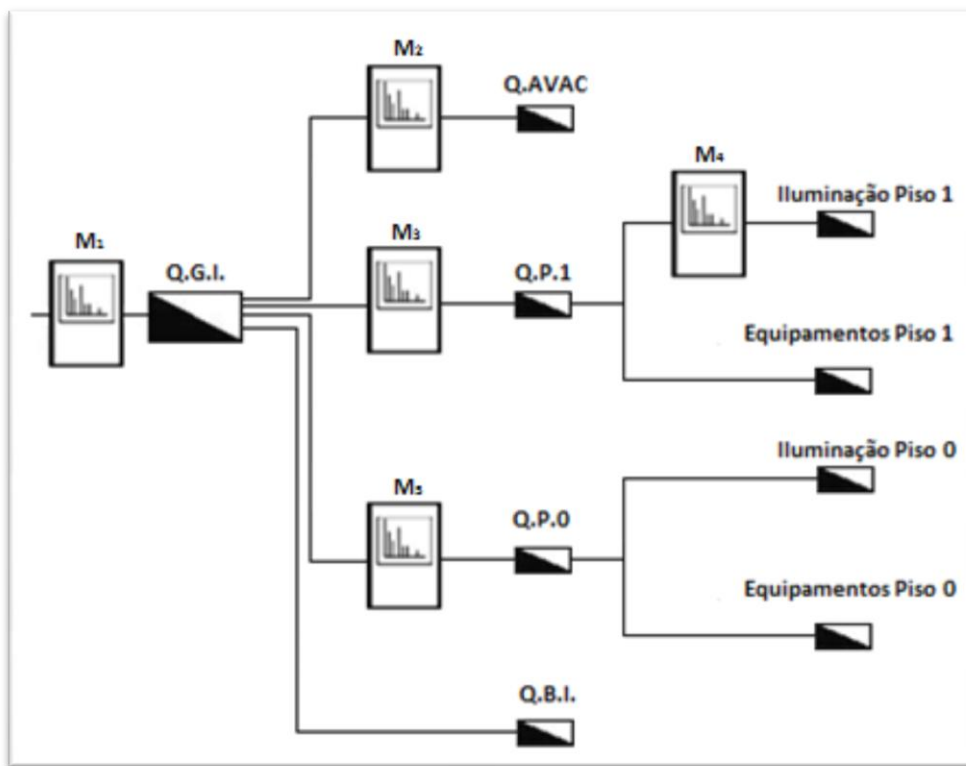


Figura 4.3 - Diagrama da desagregação das medições efectuadas.

A medição efectuada ao total do edifício, ou seja, $[M]_1$, foi realizada durante cinco dias consecutivos, de 07-11-2009 a 11-11-2009, (os dois primeiros relativos ao fim-de-semana e os restantes a dias úteis), obtendo-se os seguintes diagramas de consumo:

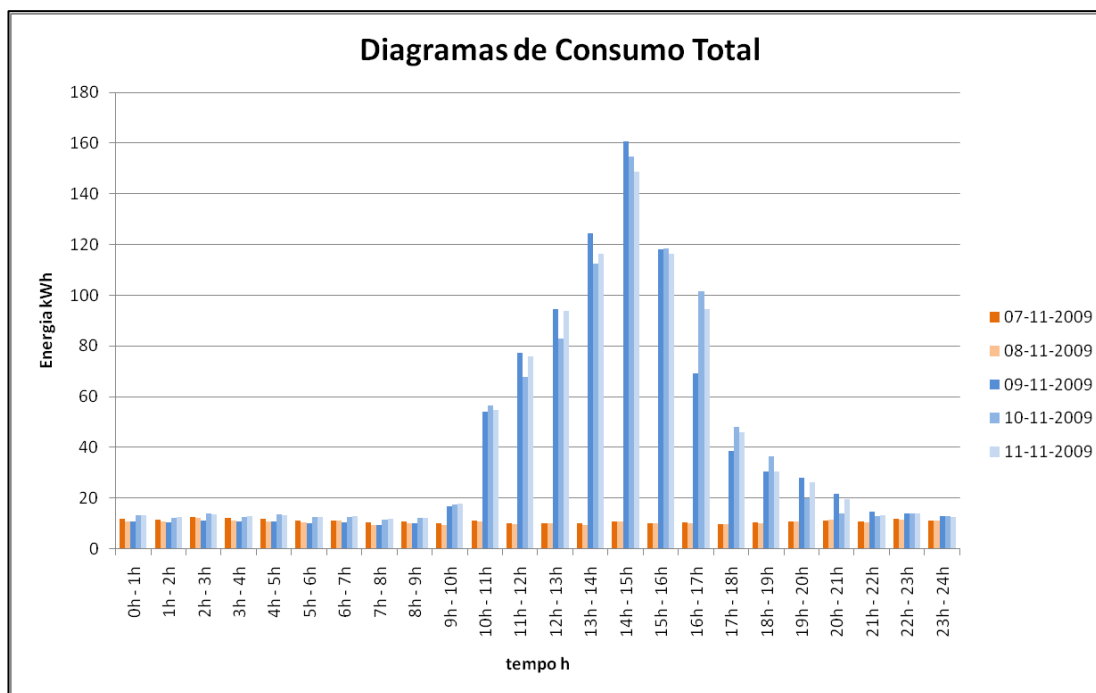


Figura 4.4 - Consumo total medido no edifício.

Como se verifica, e já era de esperar, os consumos obtidos nos dias úteis (na Figura 4.5 em tons de azul) são muito idênticos entre si, observando-se o mesmo para os restantes dias (na Figura 4.5 em tons de laranja).

Sendo assim, para os dias úteis, foi feita a média do consumo para cada hora, obtendo-se um diagrama de consumo médio. Desta forma, foi possível obter $[M]_{1,96,1,11}$, ou seja, o diagrama da medição 1 para 96 tecnologias num dia útil referente ao mês de Novembro (11):

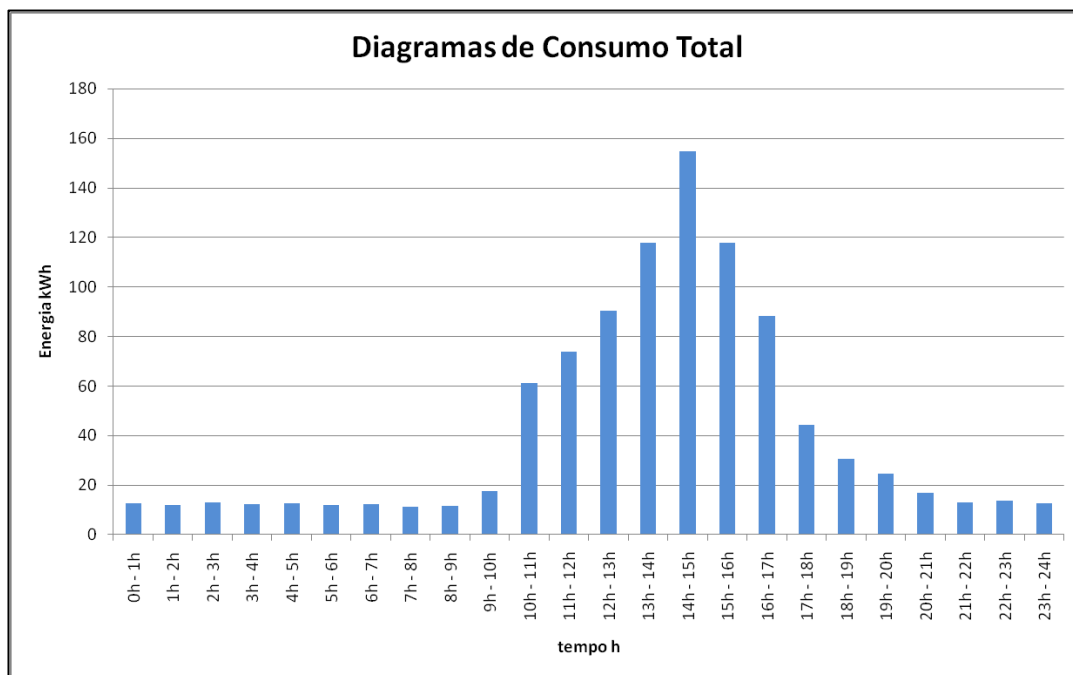


Figura 4.5 - Diagrama de consumo médio para a medição $[M]_{1,96,1,11}$.

A matriz da medição é a seguinte:

$[M]_{1,96,1,11} = [12,6; 11,9; 13,1; 12,3; 12,7; 12,0; 12,1; 11,1; 11,6; 17,6; 61,1; 73,7; 90,5; 117,7; 154,6; 117,6; 88,4; 44,2; 30,4; 24,7; 16,9; 13,1; 13,7; 12,6]$ (kWh)

Para efectuar a simulação deve definir-se o diagrama de consumo correspondente:

$$[W]_{1,96,1,11} = \sum_{k=1}^{96} [W]_{k,d,m} \quad (4.4)$$

Onde:

$$\bullet \quad [W]_{k,d,m} = f_{pi_{k,d}} \times P_k \times [PN]_{k,d,m} = [W_1 \quad W_2 \quad \dots \quad W_j] \text{ (kWh)}$$

Definidas as duas matrizes pode calcular-se o erro entre as duas:

$$e_{1,96,1,11}^M = ([W]_{1,96,1,11} - [M]_{1,96,1,11})^2 \quad (4.5)$$

Procedeu-se da mesma forma para os dias de fim-de-semana, obtendo-se $[M]_{1,96,2,11}$, $[W]_{1,96,2,11}$ e também $e_{1,96,2,11}^M = ([W]_{1,96,2,11} - [M]_{1,96,2,11})^2$

A medição ao quadro do AVAC (Figura 4.6), $[M]_2$, foi efectuada em 03-11-2009 resultando $[M]_{2,1,1,11}$. Ou seja, diagrama da medição 2 para 1 tecnologia (AVAC) num dia útil referente ao mês de Novembro (11).

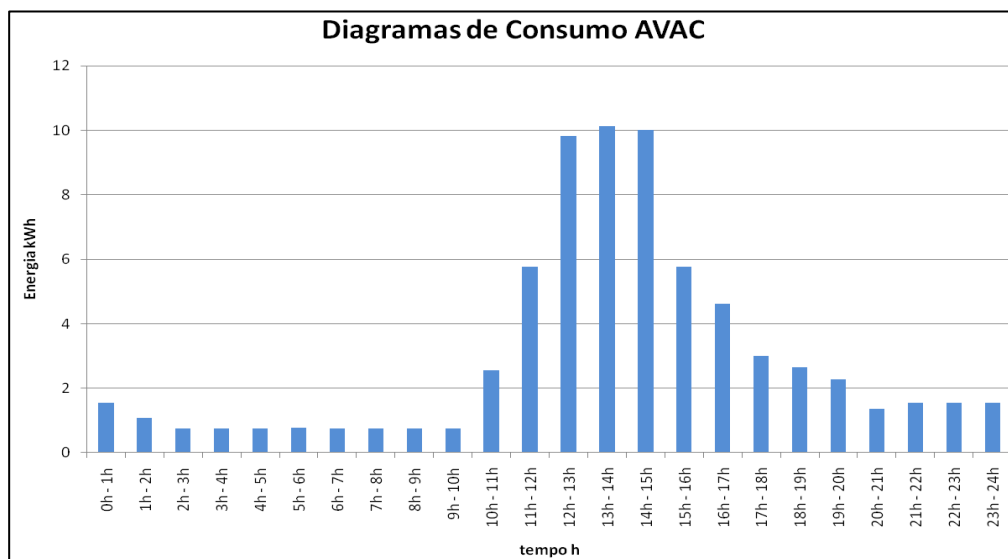


Figura 4.6 - Diagrama de consumo para a medição $[M]_{2,1,1,11}$.

A matriz da medição é a seguinte:

$[M]_{2,1,1,11} = [1,55; 1,08; 0,74; 0,75; 0,76; 0,76; 0,75; 0,75; 0,76; 0,75; 2,55; 5,77; 9,83; 10,14; 10,00; 5,76; 4,62; 3,01; 2,65; 2,26; 1,36; 1,54; 1,54; 1,55]$ (kWh)

Deve definir-se o diagrama de consumo correspondente para fazer a simulação:

$$[W]_{2,1,1,11} = \sum_{k=1}^1 [W]_{k,d,m} \quad (4.6)$$

Onde:

$$[W]_{k,d,m} = f_{pi_{k,d}} \times P_k \times [PN]_{k,d,m} = [W_1 \quad W_2 \quad \dots \quad W_j] \text{ (kWh)}$$

Definidas as duas matrizes pode calcular-se o erro entre as duas:

$$e_{2,1,1,11}^M = ([W]_{2,1,1,11} - [M]_{2,1,1,11})^2 \quad (4.7)$$

A medição efectuada ao quadro do Piso 1 (Figura 4.7), $[M]_3$, foi realizada no dia 03-11-2009. Nela tão abrangidas todas as tecnologias de consumo relativas a este piso (63). Em simultâneo foi medido todo o consumo relativo apenas à iluminação do mesmo piso, $[M]_4$.

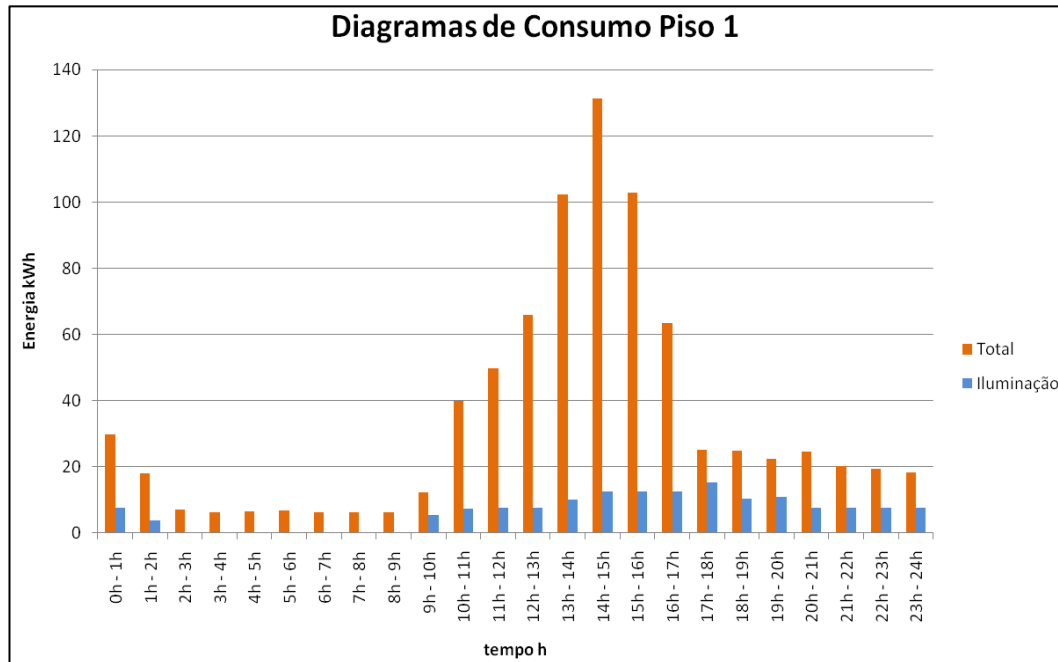


Figura 4.7 - Diagrama de consumo para as medições $[M]_{3,63,1,11}$ (a laranja) e $[M]_{4,14,1,11}$ (a azul).

As matrizes dos consumos medidos são as seguintes:

$$[M]_{3,63,1,11} = [29,9; 17,95; 7,11; 6,35; 6,61; 6,75; 6,4; 6,17; 6,27; 12,31; 39,93; 49,89; 65,82; 102,28; 131,35; 102,86; 63,46; 25,25; 25,01; 22,42; 24,49; 20,2; 19,5; 18,26;] \text{ (kWh)}$$

$$[M]_{4,14,1,11} = [7,73; 3,95; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 5,47; 7,43; 7,55; 7,78; 10,19; 12,54; 12,45; 12,6; 15,38; 10,39; 11,01; 7,73; 7,71; 7,61; 7,63;] \text{ (kWh)}$$

Deve definir-se os diagramas de consumo correspondentes para fazer a simulação:

$$[W]_{3,63,1,11} = \sum_{k=1}^{63} [W]_{k,d,m} \quad (4.8)$$

$$[W]_{4,14,1,11} = \sum_{k=1}^{14} [W]_{k,d,m} \quad (4.9)$$

Onde:

$$[W]_{k,d,m} = f_{pi_{k,d}} \times P_k \times [PN]_{k,d,m} = [W_1 \ W_2 \ \dots \ W_j] \text{ (kWh)}$$

Definidas as matrizes, podem-se calcular os erros entre os valores reais e simulados:

$$e_{3,63,1,11}^M = ([W]_{3,63,1,11} - [M]_{3,63,1,11})^2 \quad (4.10)$$

$$e_{4,14,1,11}^M = ([W]_{4,14,1,11} - [M]_{4,14,1,11})^2 \quad (4.11)$$

Por último, a medição efectuada ao Piso 0 (Figura 4.8), $[M]_5$, foi efectuada no dia 03-11-2009 e contempla todas as tecnologias de consumo desse piso (32).

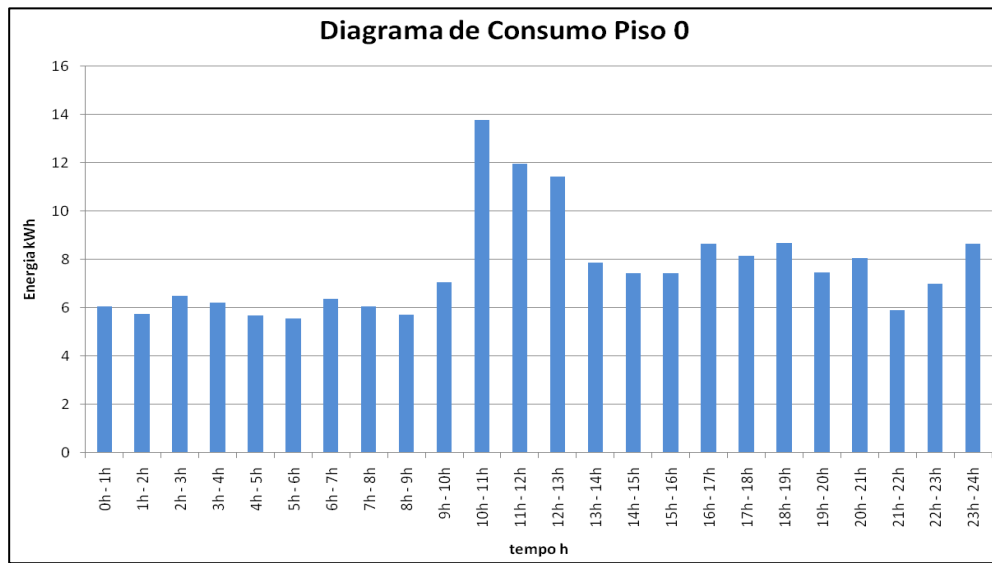


Figura 4.8 - Diagrama de consumo para a medição $[M]_{5,32,1,11}$.

A matriz da medição é a seguinte:

$$[M]_{5,32,1,11} = [6,04; 5,74; 6,49; 6,2; 5,67; 5,55; 6,35; 6,06; 5,72; 7,06; 13,79; 11,96; 11,43; 7,88; 7,44; 7,41; 8,65; 8,14; 8,66; 7,46; 8,05; 5,91; 7; 8,66;] \text{ (kWh)}$$

Deve definir-se o diagrama de consumo correspondente para fazer a simulação:

$$[W]_{5,32,1,11} = \sum_{k=1}^{32} [W]_{k,d,m} \quad (4.12)$$

Onde:

$$[W]_{k,d,m} = f_{pi_{k,d}} \times P_k \times [PN]_{k,d,m} = [W_1 \ W_2 \ \dots \ W_j] \text{ (kWh)}$$

Definidas as duas matrizes pode calcular-se o erro entre as duas:

$$e_{5,32,1,11}^M = ([W]_{5,32,1,11} - [M]_{5,32,1,11})^2 \quad (4.13)$$

Definidos todos os erros, pode passar-se à optimização do problema aplicando o modelo desenvolvido, através da utilização do *Solver* ou do *Risk Solver Platform*. Pretende-se:

- *minimizar:* $\sum_{p=1}^5 (e_F^{total} + e_{p,l,d,m}^M)$ (4.14)
- *Sujeito a:* $f_{pi_{k,d}}^{min} \leq f_{pi_{k,d}} \leq f_{pi_{k,d}}^{max}$
- *Onde:*
 - $e_F^{total} = f(f_{pi_k})$
 - $e_{p,l,d,m}^M = f(f_{pi_k})$

4.4- Análise dos Resultados Obtidos

A optimização foi concluída pelo *Risk Solver Platform* e convergiu para um valor mínimo do erro, em que as restrições foram todas respeitadas.

Primeiramente, serão analisados os gráficos que comparam os valores reais com os resultados da optimização.

Por último, serão analisados em detalhe os valores resultantes da aplicação do modelo que permitirão verificar a desagregação dos consumos.

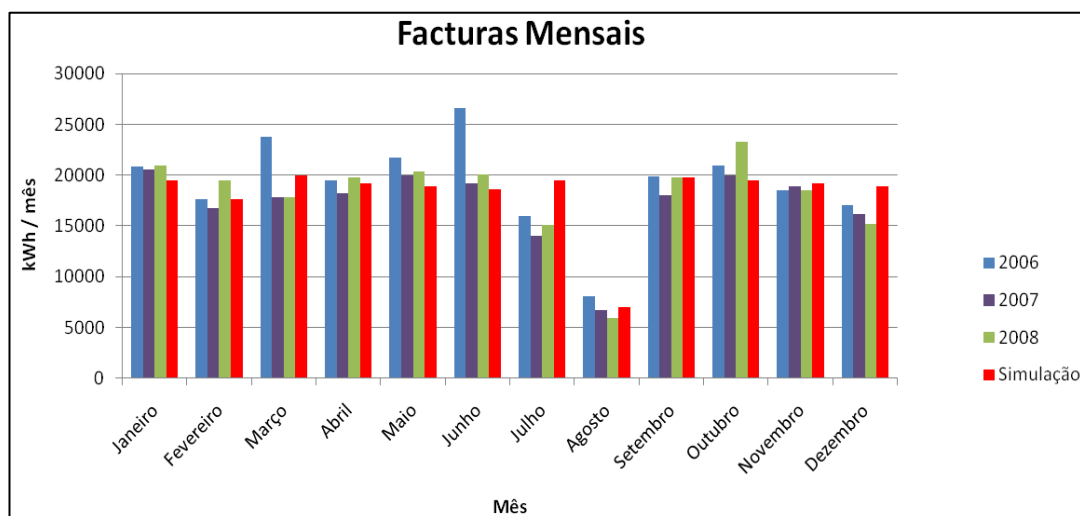


Figura 4.9 - Comparação das facturas reais com os resultados da simulação.

Como a Figura 4.9 mostra, o resultado da simulação é aceitável visto que, para cada mês, a solução encontrada se aproxima dos valores reais dos anos anteriores. De facto, parte do objectivo, era minimizar o erro entre a simulação e os restantes anos, ou seja, obter a simulação para um ano que caracterizasse o consumo real do edifício.

Apesar dos bons resultados obtidos para os valores mensais, valores obtidos para o mês de Julho e Dezembro encontram-se mais afastado dos reais. Em Julho verifica-se que o consumo diminui relativamente aos restantes (excepto Agosto pelo motivo já referido) pois, com o aproximar da época de férias, a afluência à cantina baixa. Em Dezembro também se verifica um período de férias e a diminuição do consumo neste mês pode justificar-se por esse facto.

Estas incoerências justificam-se pela imprecisão dos PN, devido à falta de informação concreta para estes meses.

Atendendo à energia anual consumida também se verifica que o valor simulado se aproxima dos restantes anos. Em 2006 foram consumidos 230.464 kWh, em 2007 consumiram-se 206.045 kWh e, por fim, em 2008 foram gastos 216.355 kWh. Por simulação, obteve-se um consumo anual de 217.518,97 kWh. Como era de esperar, os resultados da simulação aproximam-se da média dos restantes anos.

Em suma, pode dizer-se que os resultados obtidos para as facturas mensais caracterizam o consumo real do edifício e, portanto, para este ponto, a optimização foi bem sucedida.

Analizadas as facturas, serão examinados os resultados obtidos para as medições. Estes podem ter maiores erros comparativamente aos reais, dado que as medições são realizadas em poucos dias e, portanto, apesar da energia mensal simulada se aproximar da energia real consumida, a simulação para o dia da medição pode falhar.

As duas figuras seguintes representam as medições efectuadas ao total do edifício em dois tipos de dias diferentes.

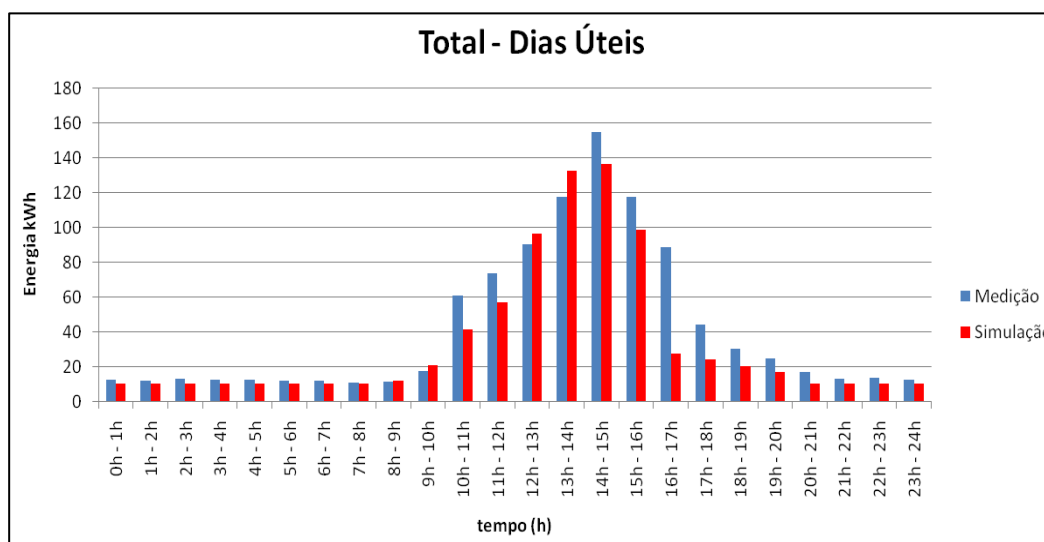


Figura 4.10 - Comparação da simulação com a medição efectuada a todo o edifício num dia útil.

Na figura anterior (Figura 4.10) verifica-se que o resultado da simulação para o total do edifício se aproxima do valor real, à excepção do período entre as 16 e 17 horas onde o erro é maior. No entanto, pode concluir-se que o diagrama de consumo simulado caracteriza com uma boa aproximação o consumo real da cantina, em específico para os dias úteis no mês de Novembro (data da realização da medição). O mesmo se pode afirmar para o resultado da simulação nos Feriados e Fins-de-semana desse mês.

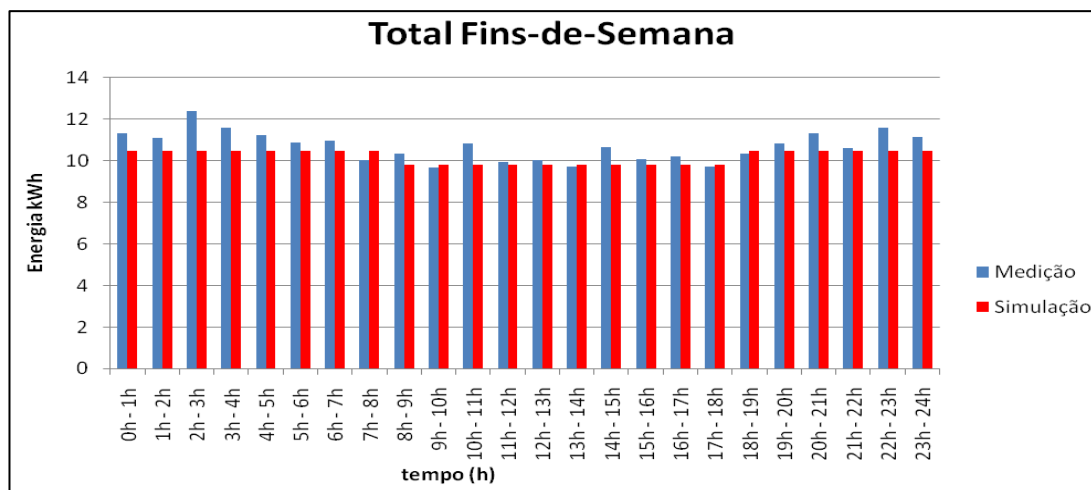


Figura 4.11 - Comparação da simulação com a medição efectuada a todo o edifício num dia de fim-de-semana.

Como já foi explicado, nestes dias o edifício encontra-se encerrado, no entanto, existem equipamentos que funcionam continuamente. Pela análise da Figura 4.11 conclui-se que a simulação efectuada caracteriza com grande aproximação o consumo do edifício nestes dias.

Relativamente ao AVAC foi efectuada uma medição durante um dia útil.

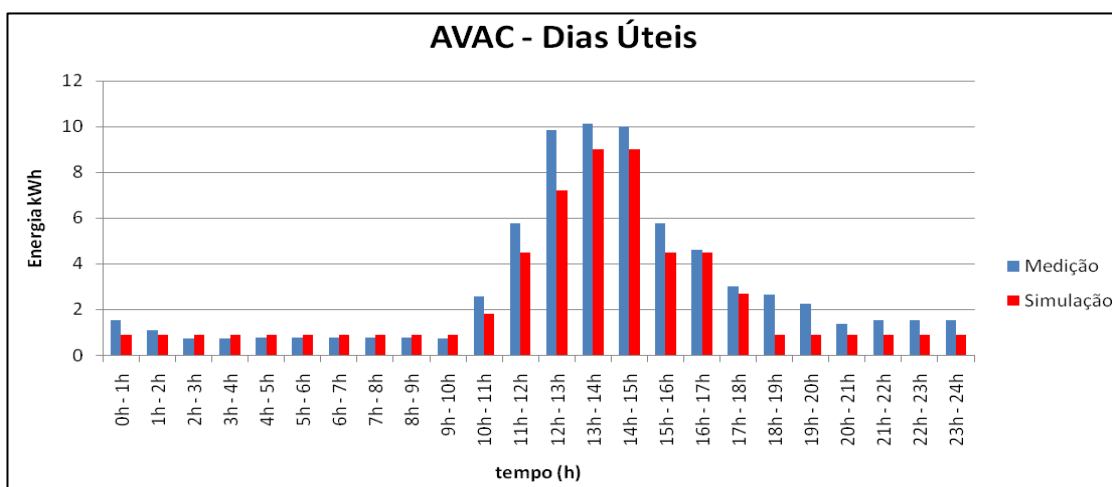


Figura 4.12 - Comparação medição efectuada ao AVAC num dia útil com os resultados da simulação.

Analisando a figura anterior (Figura 4.12), verifica-se que, apesar de o diagrama simulado ter um comportamento idêntico à medição efectuada, existem diferenças significativas, principalmente no período das 10 às 15 horas e das 18 às 0 horas.

O facto do diagrama simulado ter sempre valores inferiores ao real poderia sugerir que as restrições impostas para o f_{pi}^{max} estivessem demasiado baixas. Porém, o valor de f_{pi} resultante da simulação para o AVAC nos dias úteis foi 0,2 o que não corresponde ao limite máximo imposto.

Fazendo a análise dos resultados do Piso 1 conclui-se que, à imagem do que sucedeu com o AVAC, existem períodos em que o diagrama obtido por simulação não se aproxima do valor medido.

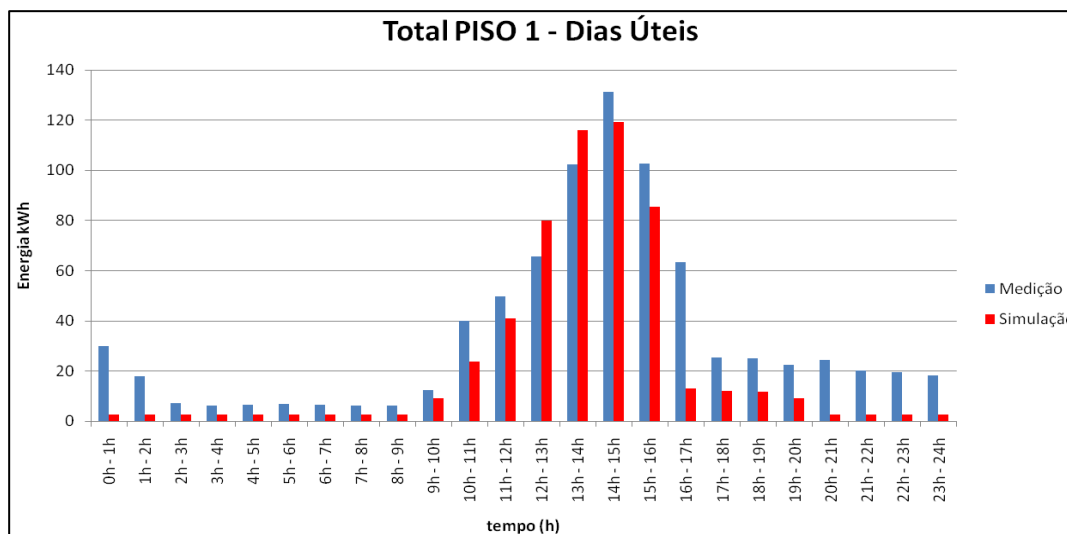


Figura 4.13 - Comparação entre a simulação e a medição efectuada para o Piso 1 num dia útil.

Pode verificar-se pela análise da Figura 4.13 que a simulação falha no período entre as 16 horas e as 2 horas do dia seguinte.

O mesmo acontece quando se observa o diagrama simulado para a iluminação do mesmo piso.

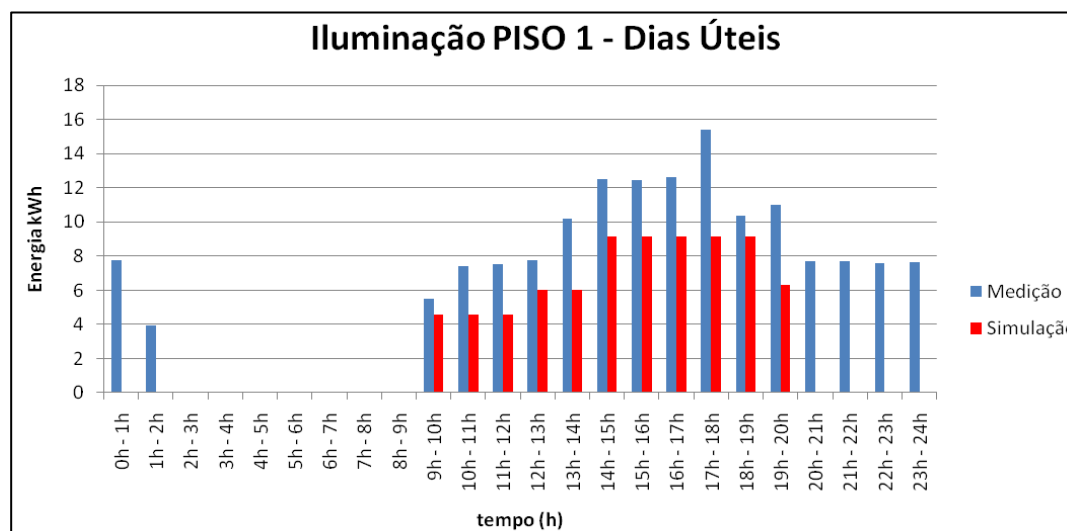


Figura 4.14 - Comparação entre a medição efectuada na iluminação do Piso 1 e o resultado da simulação.

Analisando a figura anterior relativa à iluminação (Figura 4.13 e Figura 4.14) conclui-se que a simulação falha no período entre as 19 horas e as 2 horas do dia seguinte. No entanto, este facto não seria de esperar, pois o Piso 1 corresponde aos Espaços da Cozinha, Cantina e outros, cujo horário de funcionamento é diurno, e não nocturno como sugere o diagrama da medição.

Precisamente no dia da medição, decorreu um jantar nas instalações, situação que aconteceu pontualmente, mas que influenciou o consumo naquele dia.

Portanto, tendo em conta este facto, pode concluir-se que a simulação para o Piso 1 poderá caracterizar, efectivamente, o consumo dessa zona ao contrário do que a comparação dos diagramas indica.

Esta situação permite concluir que o modelo desenvolvido serve, efectivamente, para detectar incoerências nas medições, e nesses casos, decidir ou não pela realização de nova medição ao local.

Examinando os diagramas de consumo, medido e simulado, para o Piso 0 (Figura 4.15), pode-se verificar que o resultado da simulação caracteriza com boa aproximação o consumo dessa zona.

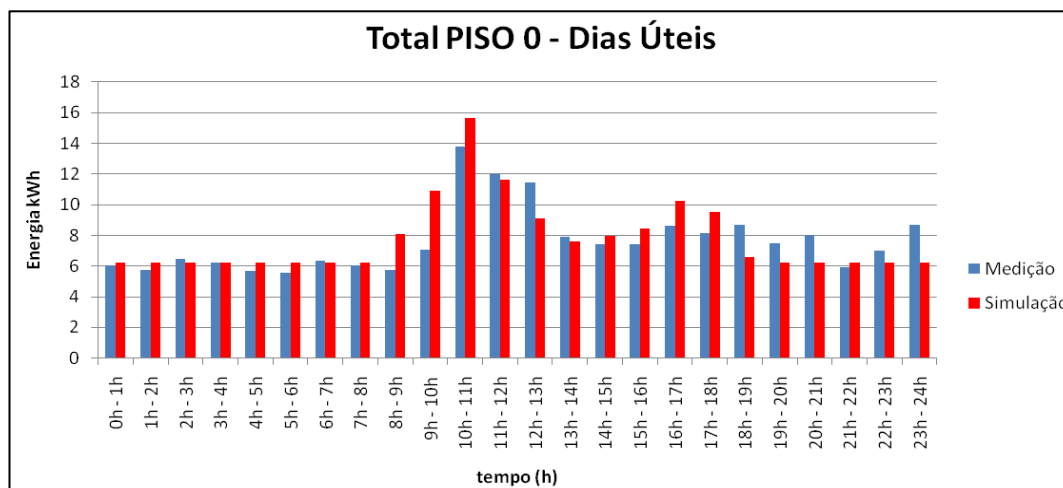


Figura 4.15 - Comparação entre o resultado da simulação e a medição feita no Piso 0.

A simulação aproxima-se da medição e pode justificar-se pelo facto desta zona ter um consumo contínuo, devido à existência em grande número de arcas congeladoras, com apenas algumas variações ao longo do dia, devido à zona de preparação de refeições e descargas.

No geral, a aplicação do modelo desenvolvido permitiu obter bons resultados que podem caracterizar o consumo total do edifício, e ainda, obter consumos desagregados, ou seja, permite obter diagramas de consumo para as diferentes zonas e espaços do edifício com uma boa aproximação aos valores medidos. Quer isto dizer que o modelo conseguiu encontrar valores óptimos de f_{pi} para as diversas tecnologias, de modo a minimizar todos os erros, ou seja, minimizar as diferenças nos diagramas.

Concluiu-se, ainda, que a aplicação do modelo permite detectar incoerências, por comparação gráfica dos valores reais e simulados. Estas situações podem localizar-se em três pontos: nos PN, nas restrições de f_{pi} ou na medição efectuada. Nos dois primeiros casos é possível corrigir esses valores e aplicar novamente o modelo. Se o erro for na medição pode-se optar por realizar uma nova para aplicar o modelo outra vez, ou então assumir que os valores simulados são os correctos.

Importa agora fazer a análise mais detalhada e desagregada dos valores obtidos por aplicação do modelo. Esses resultados vão permitir caracterizar todo o consumo do edifício e ainda fazer uma desagregação deste, para se determinar que zonas/espaços ou tecnologias consomem.

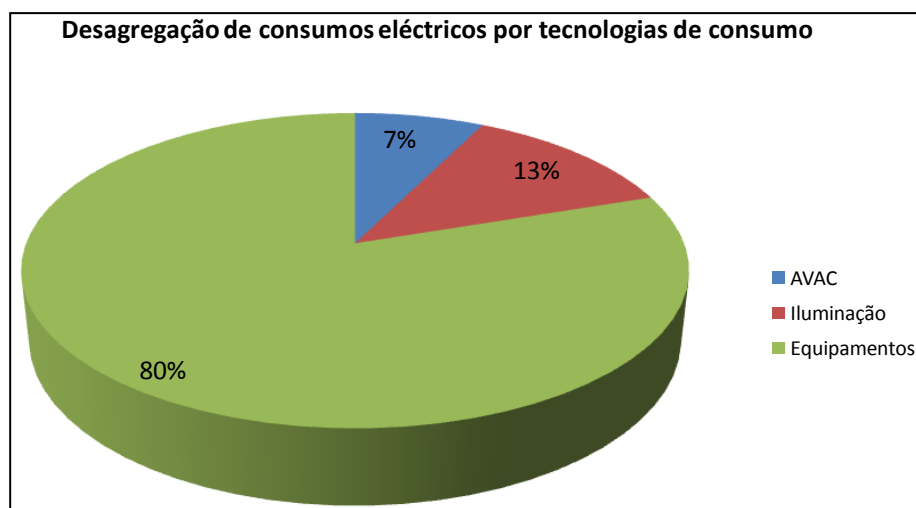


Figura 4.16 - Desagregação dos consumos eléctricos por tecnologias de consumo.

Analisando a Figura 4.16 conclui-se que o consumo predominante na cantina é feito nos equipamentos. Esse consumo representa 80% de todo o edifício, enquanto o consumo relativo à iluminação é apenas de 13%. O restante é devido ao sistema AVAC.

A Tabela 4.3 mostra em detalhe os resultados obtidos por simulação para a energia anual consumida em cada zona e espaço, tanto para iluminação como equipamentos.

Tabela 4.3 - Sumário da energia anual consumida nos diversos espaços.

Zona	Espaço	Iluminação	Equipamentos	Total
		Energia Anual consumida (kWh/ano)	Energia Anual consumida (kWh/ano)	Energia Anual consumida (kWh/ano)
Iluminação Exterior		3447,013	0,000	3447,013
	Iluminação	3447,013	0,000	3447,013
Outros		0,000	16092,000	16092,000
	AVAC	0,000	16092,000	16092,000
Piso 0		5948,038	56990,506	62938,544
	Armazém (arcas)	2262,928	53875,375	56138,302
	Arrumos	130,288	0,000	130,288
	Átrio	161,781	0,000	161,781
	Descargas	1194,782	0,000	1194,782
	Entrada Armazém	390,147	0,000	390,147
	Escadas	41,309	0,000	41,309
	Gabinete Aulas	574,707	263,747	838,454
	Montacargas	0,000	28,575	28,575
	Preparações	1011,472	933,366	1944,838
	Vestiários	180,625	1889,443	2070,068
Piso 1		17767,425	117273,985	135041,410
	Cantina	5232,001	603,409	5835,410
	Corredor Acesso	0,000	0,000	0,000
	Cozinha	6217,158	105594,144	111811,301
	Gabinete	90,723	62,072	152,795
	Instalações Sanitárias	641,078	868,452	1509,529
	Restaurante	1532,673	6571,736	8104,409
	Snack-Bar	4053,792	3574,174	7627,966
Total Geral		27162,476	190356,491	217518,967

Como se pode verificar, a zona onde se consome mais energia é no Piso 1, em particular no espaço Cozinha. Já tinha sido apurado que esta zona é a que tem mais potência instalada

e o espaço com maior utilização do edifício, portanto, é normal que também seja o espaço onde se consome mais electricidade.

De realçar ainda o espaço Armazém, no Piso 0, que é o segundo com maior consumo anual. Para isso contribuem as arcas congeladoras que funcionam continuamente durante todo o ano.

A Figura 4.17 indica a distribuição dos consumos pelas diferentes zonas confirmando o que foi explicado anteriormente.

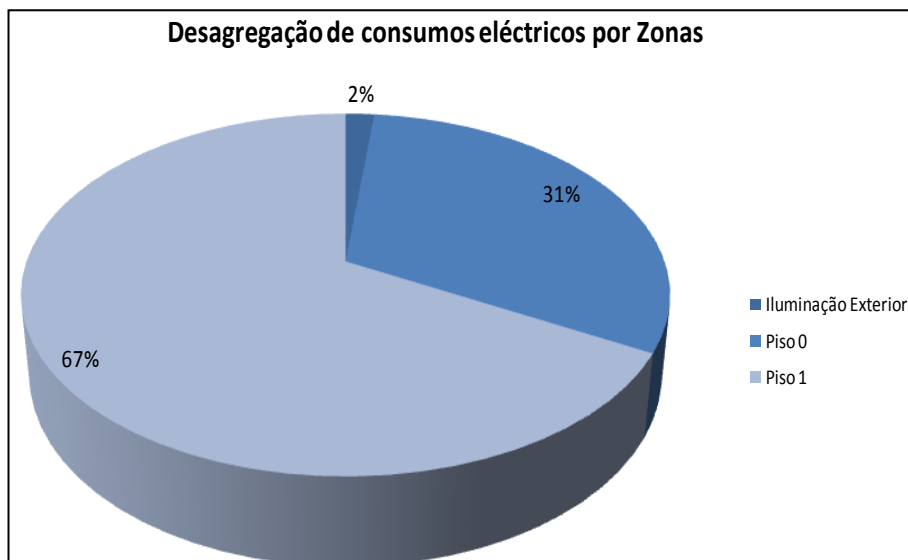


Figura 4.17 - Desagregação dos consumos eléctricos pelas diferentes zonas.

Analisando em particular os equipamentos constata-se, pela análise da Figura 4.18, que é no Piso 1 o maior consumo destas tecnologias e justifica-se pela elevada concentração destas no espaço Cozinha.

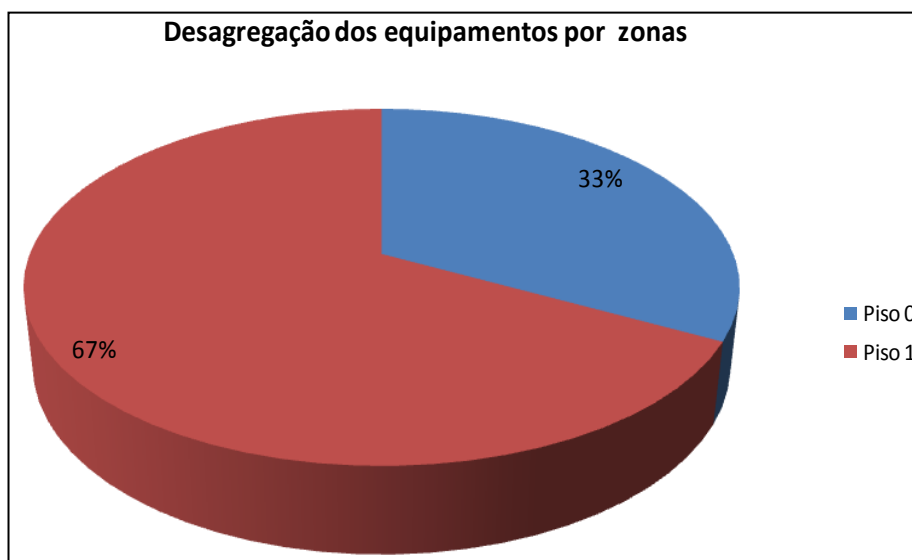


Figura 4.18 - Desagregação do consumo de equipamentos por zonas.

A figura seguinte (Figura 4.19) indica o consumo relativo à iluminação pelas diferentes zonas.

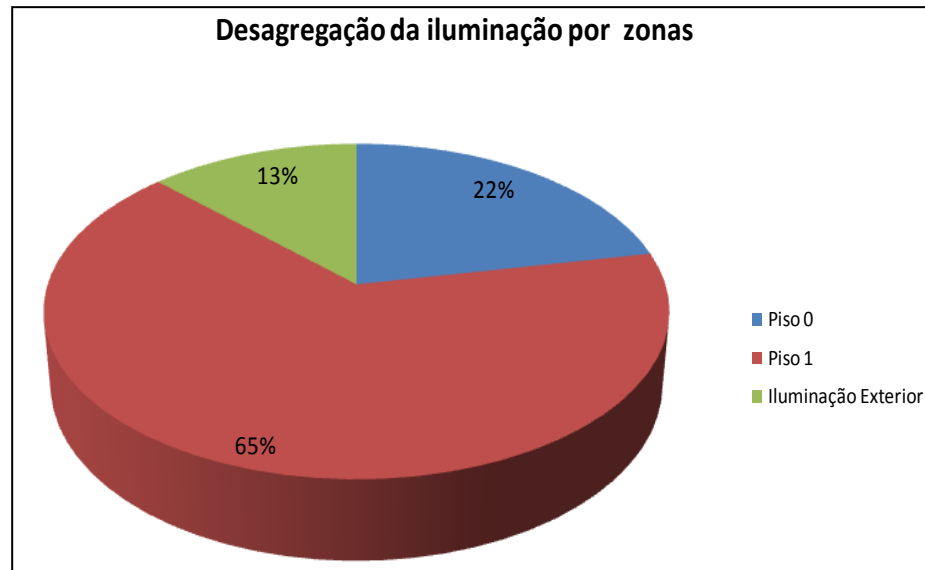


Figura 4.19 - Desagregação do consumo de iluminação por zonas.

Como era de esperar, o Piso 1 é a zona onde se consome mais electricidade referente à utilização da iluminação. Este piso não só corresponde à zona mais utilizada pelos funcionários como também é zona destinada aos utilizadores que lá vão almoçar, daí ter mais necessidade de iluminação.

Após analisar a desagregação do consumo por zonas e espaços, relativamente às tecnologias de consumo, interessa verificar com detalhe quais as tecnologias que mais contribuem para o consumo. Além disso, é importante analisar os valores de f_{pi} resultantes da aplicação do modelo, pois vão permitir relacionar a potência instalada de cada tecnologia com a potência máxima que cada uma atingiu efectivamente.

Todas as tecnologias de iluminação do edifício encontram-se na Tabela 4.4 e estão identificadas numericamente. Podem ver-se que tipos de lâmpadas e balastros são usados, assim como a potência total instalada de cada tecnologia, também o indicador de potência/m². Encontram-se ainda os valores f_{pi} para cada tecnologia e para cada tipo de dia, e também, a energia anual consumida por cada uma, nos diferentes períodos.

Tabela 4.4 - Sumário das tecnologias de consumo (iluminação).

Zona	Espaço	Área (m ²)	Nº Identificação	Tipo de Balastro	Tipo de lâmpada	Potência Total (kW)	W/m ²	Período	f_{pi}	Potência Máxima (kW)	Energia Anual (kWh/ano)
Piso 1	Cozinha	352,33	1	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	3,424	9,72	Dias Úteis	0,93	3,18	6155,67
			2	Electrónicos	Fluorescentes Compactas	0,035	0,10	Restantes	0,00	0,00	0,00
	Cantina	461,03	3	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	2,786	6,04	Dias Úteis	0,87	2,43	4711,14
			4	Electrónicos	Fluorescentes Compactas	0,315	0,68	Restantes	0,00	0,00	0,00
	Corredor Acesso	80,54	5	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	0,234	2,91	Dias Úteis	0,00	0,00	0,00
			6	Electrónicos	Fluorescentes Compactas	0,051	0,76	Restantes	0,00	0,00	0,00
	Instalações Sanitárias	67,54	7	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	1,510	22,36	Dias Úteis	0,21	0,32	621,18
			8	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	1,974	5,86	Restantes	0,00	0,00	0,00
	Snack-Bar	336,68	9	Electrónicos	Fluorescentes Compactas	0,099	0,29	Dias Úteis	0,90	0,09	173,23
			10	Electrónicos	Fluorescentes Compactas	0,159	0,47	Restantes	0,00	0,00	0,00
			11	Sem Arrancador	Incandescentes	0,060	0,18	Dias Úteis	0,90	0,05	104,70
	Gabinete	8,44	12	Electrónicos	Fluorescentes Compactas	0,055	6,55	Restantes	0,00	0,00	0,00
			13	Electrónicos	Fluorescentes Compactas	0,059	0,57	Dias Úteis	0,90	0,05	103,38
	Restaurante	103,53	14	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	0,814	7,86	Restantes	0,00	0,00	0,00
			15	Electrónicos	Fluorescentes Compactas	0,211	6,30	Dias Úteis	0,10	0,02	41,31
Piso 0	Escadas	33,54	16	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	0,118	7,50	Restantes	0,00	0,00	0,00
	Átrio	15,75	17	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	0,756	13,68	Dias Úteis	0,60	0,07	161,78
	Preparações	55,27	18	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	1,684	5,29	Restantes	0,00	0,00	0,00
	Armazém (arcas)	318,14	19	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	0,471	0,93	Dias Úteis	0,90	0,68	1011,47
	Descargas	506,57	20	Electrónicos	Fluorescentes Compactas	0,471	0,93	Restantes	0,00	0,00	0,00
			21	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	0,524	1,03	Dias Úteis	0,75	0,35	629,22
	Montacargas	24,53	22	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	0,120	4,90	Restantes	0,00	0,00	0,00
	Arrumos	24,56	23	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	0,060	2,45	Dias Úteis	0,95	0,06	574,71
	Gabinete Aulas	48,15	24	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	0,698	14,50	Restantes	0,00	0,00	0,00
	Vestiários	80,30	25	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	0,350	4,36	Dias Úteis	0,80	0,56	180,62
	Entrada Armazém	15,75	26	Ferromagnéticos	Fluorescentes Tubulares	0,292	18,55	Restantes	0,00	0,00	0,00
Iluminação Exterior	Iluminação	-	27	Ferromagnéticos	Vapor de Sódio	1,402	-	Dias Úteis	0,31	0,44	1530,52
			28	Ferromagnéticos	Vapor de Sódio	0,752	-	Restantes	0,31	0,24	713,01
											382,47

Como se constata na tabela anterior (Tabela 4.4), os valores de f_{pi_k} resultantes da aplicação do modelo são muito próximos de 1, o que significa que a potência máxima atingida corresponde à utilização de quase toda a potência instalada de cada tecnologia. De facto, quando se trata de iluminação, é habitual que tal suceda.

Pode ver-se com mais detalhe na figura seguinte (Figura 4.20) a relação entre a potência máxima e a instalada, apenas nos dias úteis, uma vez que, apenas, a iluminação exterior funciona nos restantes dias (Feriados e Fins-de-semana).

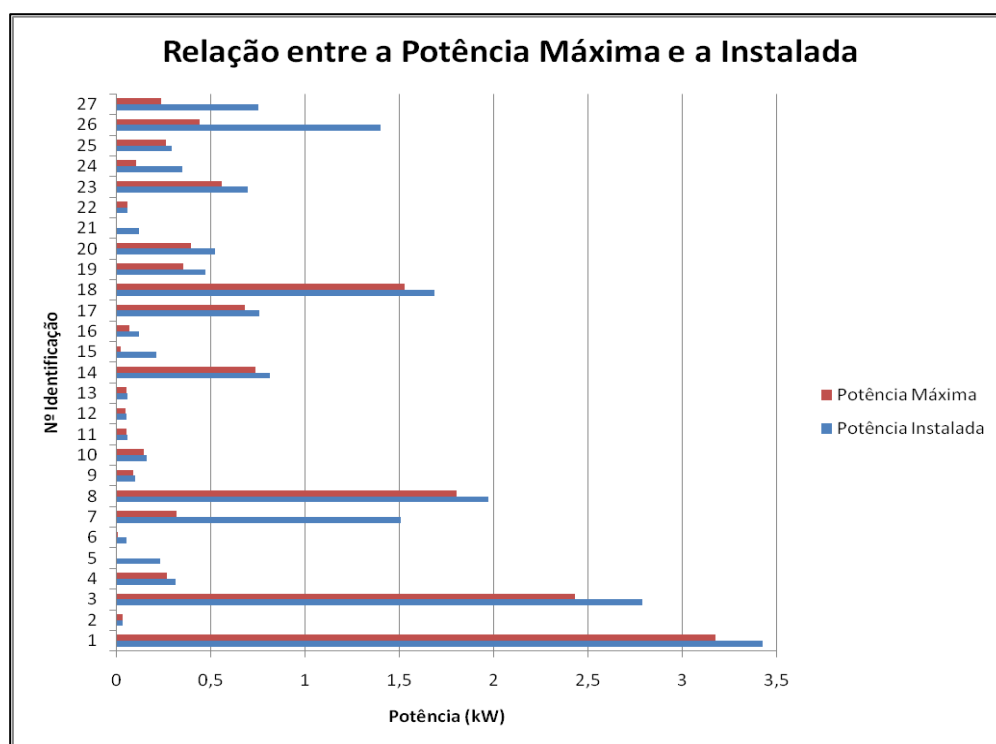


Figura 4.20 - Relação entre a potência máxima e a instalada de cada tecnologia.

Nos espaços mais utilizados verifica-se que a potência máxima se aproxima da instalada, enquanto em zonas menos frequentadas a diferença é maior. Importa referir para o caso específico da iluminação exterior (n.º de identificação 27), que existem várias lâmpadas fundidas e fora de funcionamento há muito tempo. Daí o valor de f_{pi} obtido na simulação ser muito baixo.

Na Figura 4.21 são visíveis as restrições aplicadas no modelo e os resultados obtidos para cada tecnologia de iluminação.

Como se pode constatar, nenhum f_{pi} atingiu o máximo a que foi restrito. No entanto, pode verificar-se que o resultado para a maioria das tecnologias foi ligeiramente acima do limite mínimo. Porém, para as tecnologias 8 a 13 verifica-se que o resultado obtido é igual ao limite mínimo aplicado, o que quer dizer que esses componentes estão sobreavaliados.

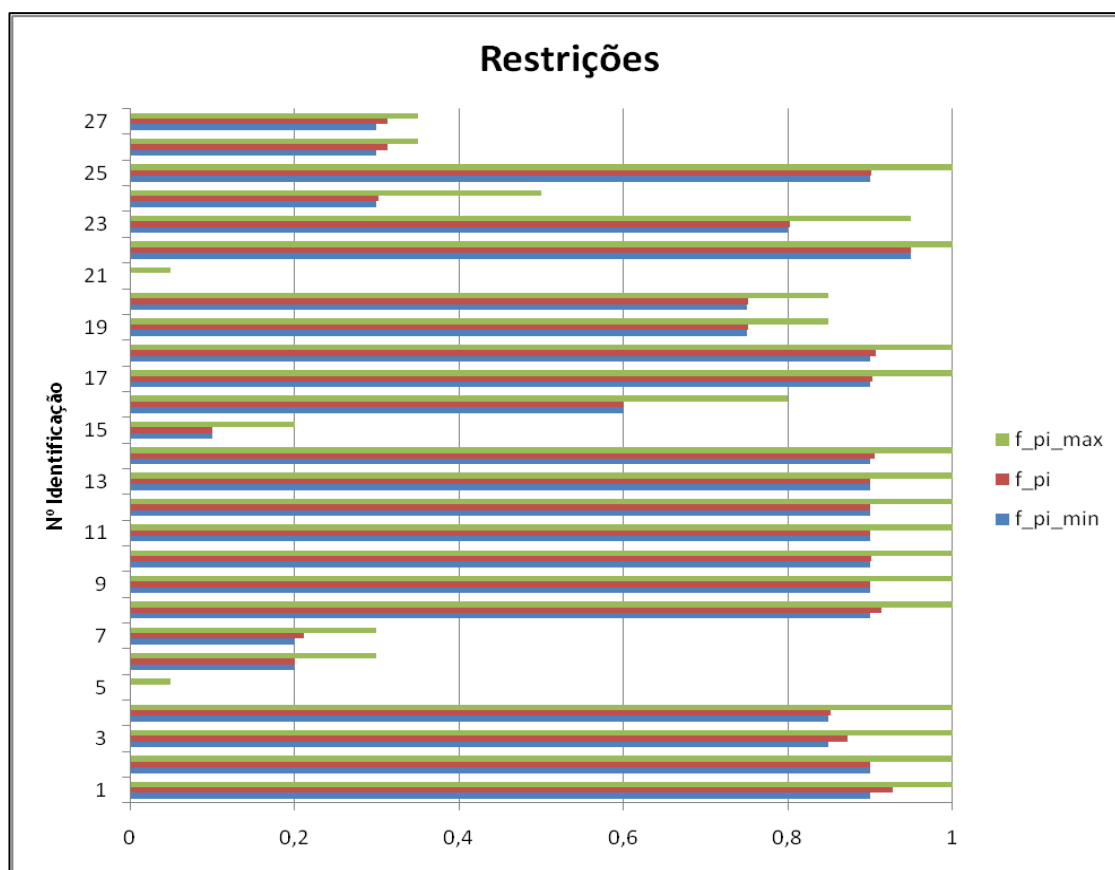


Figura 4.21 - Restrições da iluminação no modelo.

Além da iluminação, interessa avaliar os equipamentos eléctricos, nomeadamente, aqueles que mais consomem. De um total de 69 equipamentos existentes no edifício, foram escolhidos 10 que se encontram na Tabela 4.5. Estão identificados numericamente e pode ainda ver-se o tipo de equipamento, a potência total instalada e, ainda, o indicador de potência/m².

Tabela 4.5 - Equipamentos principais.

Zona	Espaço	Área (m ²)	Nº Identificação	Designação	Quantidade	Potência unitária (W)	Potência Total (kW)	W/m ²	Período	f _{pi}	Potência Máxima (kW)	Energia Anual (kWh/ano)
Piso 1	Cozinha	352,33	1	Fritadeira	3	20000	60,000	170,29	Dias Úteis	0,40	24,08	24702,57
									Restantes	0,00	0,00	0,00
			2	Fogão eléctrico	1	19000	19,000	53,93	Dias Úteis	0,20	3,75	4697,43
									Restantes	0,00	0,00	0,00
			3	Máq. Lavar Louça Industrial1	1	53800	53,800	152,70	Dias Úteis	0,65	35,00	27930,85
Piso 0	Armazém (arcas)	318,14							Restantes	0,00	0,00	0,00
			4	Máq. Lavar Louça Industrial2	1	55750	55,750	158,23	Dias Úteis	0,65	36,27	28943,21
									Restantes	0,00	0,00	0,00
			5	Frigorífico Gran.	1	340	0,340	0,97	Dias Úteis	0,30	0,10	605,39
									Restantes	0,30	0,10	282,03
	Vestíários	80,30	6	Arca de conservação	4	2000	8,000	25,15	Dias Úteis	0,30	2,38	14244,40
									Restantes	0,30	2,38	6635,94
			7	Arca de congelação	5	2500	12,500	39,29	Dias Úteis	0,30	3,72	22256,87
									Restantes	0,30	3,72	10368,66
			8	Máq. Lavar Roupa Normal	1	6000	6,000	74,72	Dias Úteis	0,30	1,82	415,79
									Restantes	0,00	0,00	0,00
			9	Máq. Secar Roupa Normal	1	6200	6,200	77,21	Dias Úteis	0,30	1,89	429,83
									Restantes	0,00	0,00	0,00
			10	Ferro de engomar	1	2000	2,000	24,91	Dias Úteis	0,30	0,61	416,44
									Restantes	0,00	0,00	0,00

Observando a Tabela 4.5 constata-se que os equipamentos mais consumidores de electricidade, ao longo do ano, são as máquinas de lavar louça (3 e 4), as fritadeiras (1) e as arcas de congelação (7). No fundo, são estes equipamentos que em funcionamento dão a forma ao diagrama de consumo diário do edifício, em particular as duas máquinas de lavar louça, como se constata na Figura 4.22.

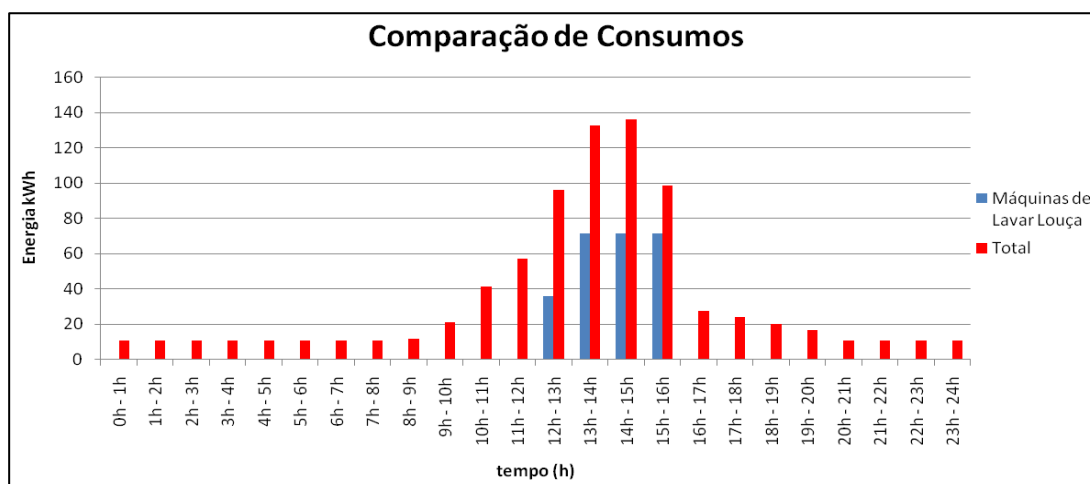


Figura 4.22 - Comparação entre o consumo total da cantina e as máquinas de lavar louça num dia útil.

A Tabela 4.5 mostra também os valores de f_{pi} obtidos pelo modelo para cada equipamento, quer para os dias úteis quer para os Feriados e Fins-de-Semana. É possível verificar que apenas equipamentos como frigoríficos (5), arcas de conservação (6) e congelação (7) funcionam em todos os dias. E como também já foi explicado, são tecnologias que apesar de terem potências instaladas elevadas e funcionarem de modo contínuo, operam a uma potência baixa (Figura 4.23).

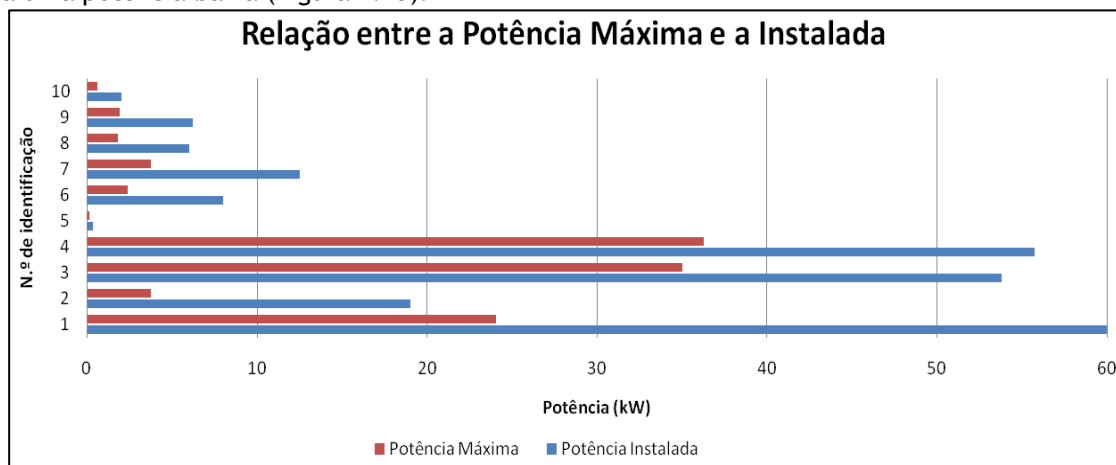


Figura 4.23 - Relação entre a potência máxima e instalada dos equipamentos.

A Figura 4.23 relaciona a potência máxima e a instalada de cada equipamento. Como já foi referido, verifica-se que a potência máxima para equipamentos como as arcas e frigoríficos (5, 6 e 7) é baixa quando comparada com a instalada. No entanto, para as máquinas de lavar louça (3 e 4), verifica-se uma potência instalada correspondente a mais de 60% da potência instalada.

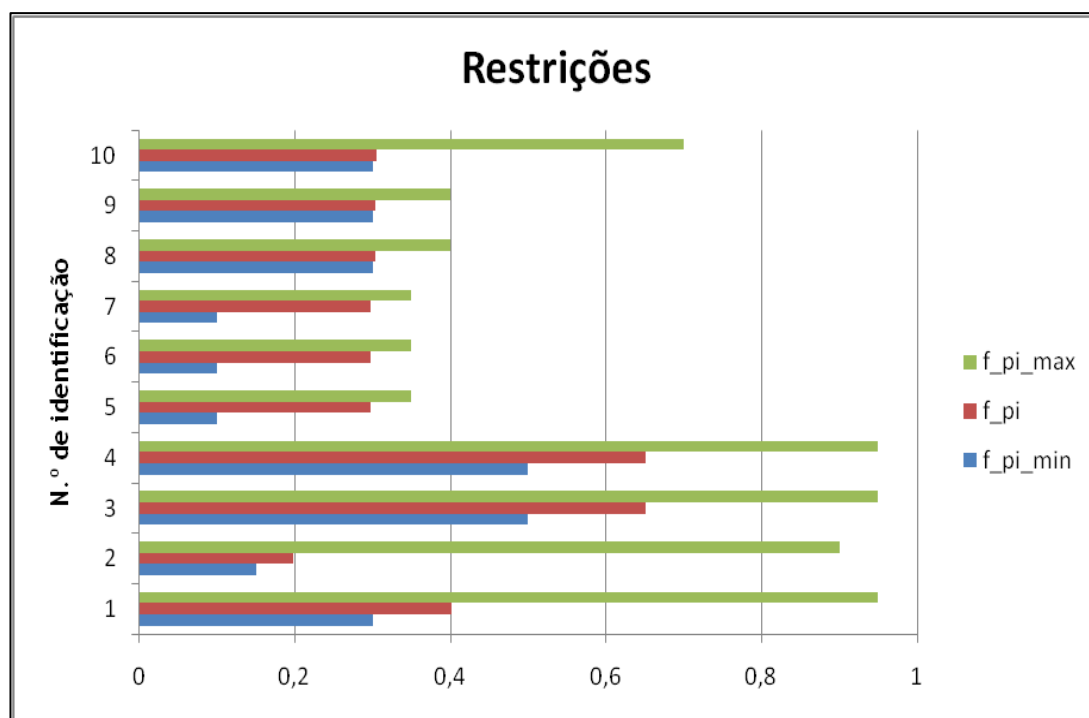


Figura 4.24 - Restrições dos equipamentos no modelo.

Verifica-se pela análise da Figura 4.24 que as soluções obtidas para os equipamentos são diversas. As tecnologias 1, 2, 8, 9 e 10 encontram-se perto do mínimo estabelecido, enquanto as tecnologias de 5 a 7 se estabelecem mais perto do limite máximo, contudo, para as restantes tecnologias, verifica-se que as soluções encontradas na optimização se situam numa zona intermédia entre o limite máximo e mínimo.

4.5- Síntese

O teste ao modelo desenvolvido é extremamente importante na medida em que permite validar, ou não, esse mesmo modelo. Para isso, efectuou-se anteriormente o teste ao modelo desenvolvido, com o objectivo de verificar a sua validade.

Os resultados obtidos permitem concluir que o modelo de caracterização e desagregação de consumos pode ser ajustado a qualquer edifício, desde que seja possível recolher, em número suficiente, as informações reais necessárias à sua aplicação.

Dois pontos importantes do modelo desenvolvido são as facturas da electricidade e as medições efectuadas aos diferentes pontos do edifício. Como foi mostrado, o resultado da simulação consegue aproximar-se dos valores reais recolhidos, obtendo-se uma caracterização e desagregação dos consumos mais realista.

Chegou-se também à conclusão que a comparação gráfica dos diagramas de consumo com os diagramas simulados permitem perceber se a optimização foi bem conseguida ou se existem incoerências. Se os resultados se aproximam dos valores reais então são os resultados finais. Se, em algum caso, isso não se verificar é possível perceber em que variáveis do problema existem erros e efectuar as devidas correcções.

Uma vez obtida com sucesso a optimização, a ferramenta desenvolvida permite a análise rápida e sucinta de todos os consumos, quer totais quer desagregados. É possível obter diagramas de consumo para qualquer tecnologia de consumo, espaço ou zona, em qualquer dia do ano. Desta forma caracteriza-se perfeitamente o consumo de todo o edifício.

Por último, também se pode visualizar a relação entre a potência instalada de cada tecnologia e a respectiva potência máxima usada por cada uma, ou seja, a variável f_{pi_k} do modelo desenvolvido. É possível visualizar também esta variável enquadrada nas restrições que lhes foram aplicadas, de modo a perceber se é necessário alterá-las.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1- Conclusões

A realização de uma auditoria a um edifício é motivada, na maior parte das vezes, por razões de cumprimento da legislação ou por outros factores, como a necessidade de poupança e preocupações ambientais. Portanto, este processo é muito importante na caracterização dos consumos de electricidade dum edifício, tendo em vista a identificação de MRE.

Infelizmente, nos tempos que correm, ainda não se verifica com frequência a monitorização permanente dos consumos desagregados. Existe, apenas, um histórico de valores mensais dos contadores globais, ou seja, as facturas de electricidade. Desta forma, não é possível detalhar numa base horária e diária os consumos, nem sequer permite uma desagregação por equipamentos ou zonas.

Durante as auditorias são feitos esforços para efectuar a caracterização das tecnologias instaladas no edifício. No entanto, é uma tarefa gigantesca, o que na maior parte das vezes se traduz numa base de informação incompleta, que não permite total fiabilidade na simulação de consumos, especialmente, porque é imposto aos auditores precisar comportamentos de consumo dos utilizadores do edifício e tecnologias correspondentes.

Para tentar minimizar esses efeitos, as auditorias incluem campanhas de medição mas geralmente, são realizadas apenas em curtos períodos de tempo, não permitindo uma caracterização perfeita da desagregação dos consumos. Na prática existe, na maioria dos casos, uma grande incoerência entre os tipos de informação, mas que na verdade se complementam.

Nesta tese conseguiu-se encontrar técnicas de optimização capazes de retirar o máximo proveito de toda a informação disponível. Essencialmente, desenvolveu-se uma metodologia que garante a coerência e detecta incoerências nas informações existentes, que caracteriza e desagrega o consumo de electricidade. No fundo, criou-se um método que permitirá aumentar a produtividade de quem trabalha nos processos das auditorias.

Quer isto dizer que, tendo como referência valores reais recolhidos das auditoria, é efectuada uma simulação que devolve resultados mais próximos dos verdadeiros, e que caracterizam de forma mais efectiva o consumo do edifício.

A aplicação do modelo origina resultados com elevado detalhe permitindo identificar diversos aspectos relacionados com o consumo do edifício. Globalmente, podem ver-se os consumos totais deste, ou de cada zona, e também a diferenciação entre o consumo dos equipamentos e da iluminação.

É possível obter diagramas de consumo para diferentes períodos, e além disso, pode-se desagregar esse diagrama pelas diversas tecnologias sendo este aspecto muito importante. A possibilidade de identificar quais as tecnologias consomem mais, ou em que período do dia ou do ano o fazem, é dos aspectos mais importantes numa auditoria. Além disto, tem-se uma perspectiva da potência máxima que cada tecnologia utiliza relativamente à instalada. Tendo estas informações, é possível identificar se existem desperdícios de energia.

Outro aspecto positivo a retirar da aplicação do modelo é o facto de se poder identificar a fiabilidade das medições efectuadas. Como foi mostrado, nem sempre este passo da auditoria é feito nas condições normais de funcionamento do edifício. Os resultados obtidos permitem fazer essa avaliação, por análise dos diagramas medidos e simulados. Havendo a certeza das restantes informações, facilmente se poderá concluir sobre a coerência da medição efectuada.

Em suma, a aplicação do modelo a processos de certificação de edifícios traz várias vantagens, tanto a nível da optimização de informação, como a nível dos resultados obtidos. Pode ainda afirmar-se que tem algum potencial de evolução, tendo em vista a integração em outros campos da eficiência energética.

5.2- Trabalhos Futuros

Foi visto que este modelo permitirá aumentar a produtividade de quem trabalha nos processos das auditorias. Em trabalhos futuros, seria enriquecedor integrar efectivamente o software em sistemas de gestão de auditorias energéticas empresariais, utilizando a sua base de dados.

Sugere-se também a integração deste modelo em sistemas de gestão e monitorização de energia. Conseguindo isto, o modelo poderia receber as medições directamente do sistema, e em tempo real podendo detectar situações anómalas.

Por último, o modelo poderia ser adaptado a processos de Medição & Verificação. Estes têm como grande objectivo determinar as poupanças de energia, portanto, a integração do modelo de caracterização e desagregação de consumos nesses processos poderá ser uma boa ajuda à elaboração de contratos de desempenho energético (EPC).

Referências

- [1] Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Políticas para as alterações climáticas. Available: <http://www.maotdr.gov.pt/>. Último acesso em Janeiro de 2010.
- [2] B. Portugal. "Manual de Boas Práticas de Eficiência Energética". Available: <http://www.bcsdportugal.org/files/496.pdf>. Último acesso em Janeiro de 2010.
- [3] Instituto do Ambiente. "Alterações Climáticas". Available: http://www.apambiente.pt/divulgacao/Publicacoes/outrossuportes/Documents/Trip_t_AltClim.pdf. Último acesso em Janeiro de 2010.
- [4] ADENE, "Certificação Energética e Qualidade do ar interior". Available: http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/C2A3E54E-5B8B-46F6-ACAD-12B42F726368/821/SCE_Geral3.pdf. Último acesso em Janeiro de 2010.
- [5] Plano de Acção para a Eficiência Energética (2007-2012). Available: http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/l27064_pt.htm. Último acesso em Janeiro de 2010.
- [6] ADENE. Agência para a Energia. Available: <http://www.adene.pt/>. Último acesso em Janeiro de 2010.
- [7] DGEG. Direcção Geral de Energia e Geologia. Available: <http://www.dgge.pt/>. Último acesso em Janeiro de 2010.
- [8] Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008.
- [9] Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002.
- [10] Decreto-Lei n.º 78/2006 - "Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), 4 de Abril de 2006".
- [11] Decreto-Lei n.º 79/2006 - "Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), 4 de Abril de 2006".
- [12] Decreto-Lei n.º 80/2006 - "Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 4 de Abril de 2006."
- [13] Directiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006.
- [14] Ministério da Economia e Inovação - "Decreto-Lei n.º 319/2009", 3 de Novembro 2009.
- [15] Decreto-Lei n.º 71/2008 - "Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), 15 de Abril de 2008."
- [16] EWEN. Gestão de Energia & Ambiente. Available: <http://www.ewen-energy.com/>. Último acesso em Janeiro de 2010.
- [17] NAESCO - National Association of Energy Service Companies. Available: <http://www.naesco.org/>. Último acesso em Janeiro de 2010.
- [18] CMFG. Energia e Ambiente. Available: <http://www.cmfg.pt/>. Último acesso em Janeiro de 2010.

- [19] Microsoft. Suporte Microsoft. Available: <http://support.microsoft.com/kb/82890/pt> Último acesso em Janeiro de 2010.
- [20] Solver.com. Frontline Systems, developers of the Excel Solver. Available: <http://www.solver.com/index.html> Último acesso em Janeiro de 2010.
- [21] A. Thumann. *"Handbook of energy audits"*, 7 ed. Fairmont Press, 2008.
- [22] C. D. Monteiro, "Utilização Racional da Energia - Auditorias Energéticas," ed: in Apontamentos de Utilização Racional da Energia.
- [23] Á. Gomes. "Auditorias de Energia Eléctrica". Available: <http://www2.deec.uc.pt/~agomes/ND/AULAS/GEE/APONTAMENTOS/auditorias.pdf> Último acesso em Janeiro de 2010.
- [24] S. D. WAYNE C. TURNER, "Energy Management Handbook". 6th edition.
- [25] AUDITOR CIR-E³ - User's Manual. Available: <http://img.icnea.net/Forum/E3032/ftp/m98225801-03-09d-cire3.pdf> Último acesso em Janeiro de 2010.
- [26] L. M. Aníbal Traça de Almeida, "Manual Técnico de Gestão de Energia". 2007.
- [27] Logica - Management and Consulting - "Transformar a preocupação em acção: Eficiência Energética e o Consumidor Europeu", 2007.
- [28] B. Pimenta, "Sistemas Inteligentes em Telecontagem", 2007.
- [29] "Decreto-Lei n.º 319/2009", 3 de Novembro de 2009.
- [30] H. Jorge, Seminário - "Construção Sustentável e Eficiência Energética", 2008.
- [31] L.L., "Um "antinegócio" que ajuda a poupar na conta da electricidade" in Público, ed, 2008.
- [32] ISA. Intelligent Sensing Anywhere. Available: <http://www.isa.pt/> Último acesso em Janeiro de 2010.
- [33] Estudantes aprendem a poupar energia. Available: <http://www.tvi24.iol.pt/geral/escola-energia-enerescola-projecto-poupar-tvi24/1080507-4147.html> Último acesso em Janeiro de 2010.
- [34] M. C. Damas, "Avaliação de Cenários para a Evolução do Sistema Energético em Portugal". 2008.
- [35] Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente - "Edifícios". Available: <http://www.cceeta.pt/site/index.html> Último acesso em Janeiro de 2010.
- [36] F. M. Barbosa, "Gestão de Energia - Gestão do Diagrama de Cargas," 2005.
- [37] ISEL - DEEA - Secção de Sistemas de Energia - "Redes de Energia Eléctrica", 2006.
- [38] C. D. Monteiro, "Caracterização de consumos - Diagramas de carga," ed: in Apontamentos de Distribuição de Energia II - 5º ano da LEEC - ramo de Energia (FEUP), 2006.
- [39] DEEC, "Gestão da Energia Eléctrica - Diagramas de carga," ed, 2009.
- [40] M. Matos, "Diagramas de Carga", ed: in Apontamentos Sistemas Eléctricos de Energia 1 (FEUP), 2005.